

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Efektivní využití půdy v obnovitelné energetice

Effective Use Land in the Renewable Energy

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

OSTRAVA 2020

Student:

Mgr. Vojtěch Vild

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Mgr. Vojtěch Vild**
Studijní program: **B3907 Energetika**
Studijní obor: **3907R012 Energetika 21.století**
Téma: **Efektivní využití půdy v obnovitelné energetice**
Effective Use Land in the Renewable Energy
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

V předložené bakalářské práci zhodnoťte efektivní využití půdy pro oblast obnovitelné energetiky na základě zvolených zdrojů. Jejich výběr vysvětlete a popište. V teoretické části práce zpracujte literární rešerši k dané problematice z dostupné tuzemské i zahraniční literatury. Popište jednotlivé operace a zvolené metody pro získání dat, informací. Zhodnoťte a popište předběžné výsledky vlastního výzkumu na reálných OZE. Popište praktické zkušenosti a predikujte závěry své práce na základě zvolených hledisek: ekonomické, energetické nebo environmentální.

Seznam doporučené odborné literatury:

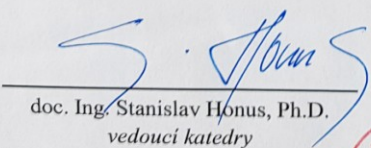
PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 9788086534060.
BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-8672-648-9.
SPELLMAN, Frank R. Environmental impacts of renewable energy. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, [2015]. ISBN 9781482249460.
Rozvoj obnovitelných zdrojů do roku 2030. Deloitte, Září 2019, s.56. Dostupné z: WWW:<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/energyresources/rozvoj_obnovitelných_zdrojů_do_roku_2030_3.pdf>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

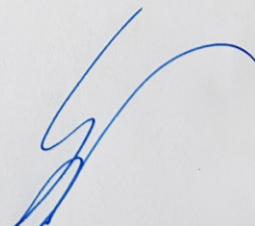
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. května 2020.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vojtěch Kůrka', is written over a light blue rectangular background.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užit tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užit toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Vojtěch Vild

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Záhřebská 13, 616 00, Brno

Anotace bakalářské práce

VILD, V. *Efektivní využití půdy v obnovitelné energetice: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2020, 98 s. Vedoucí práce: Sassmanová, V.

Bakalářská práce porovnává využití půdy pro pěstování energetické biomasy a pro instalaci fotovoltaických elektráren. V České republice je energetická biomasa pěstovaná ve formě kukuřice pro bioplynové stanice a zejména jako řepka olejná určená na produkci biopaliv. Tu samou půdu ovšem můžeme zdánlivě nelogicky využít pro instalaci fotovoltaických elektráren. Cílem této bakalářské práce je tyto fundamentálně rozdílné přístupy k získávání obnovitelné energie zhodnotit a vzájemně porovnat z hlediska energetického, ekologického a ekonomického, ale i z hlediska udržitelnosti.

Annotation of the Thesis

VILD, V. *Effective Use Land in the Renewable Energy: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of energy, 2020, 98 p. Thesis head: Sassmanová, V.

The bachelor thesis examines the use of land for biomass energy production and for photovoltaic power plant energy production. There is a great deal of biomass production in the Czech Republic. The most prevalent is growing corn for biogas power plants and growing rape for biofuels. However, there is also a possibility of using that land for photovoltaic power plants. The goal of this bachelor thesis is to compare these fundamentally different approaches of renewable energy production. These renewables are evaluated energetically, ecologically, economically and in terms of sustainability.

Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a zkratk	8
1. Úvod.....	9
2. Technologie obnovitelné energetiky	11
2.1. Řepka.....	11
2.1.1. Pěstování a sklizeň řepky	12
2.1.2. Řepkový olej jako potravina.....	13
2.1.3. Řepkový olej jako energetický produkt	13
2.1.4. Řepkový šrot	14
2.1.5. Vliv Evropské unie na pěstování řepky	15
2.1.6. Ostatní energetická biomasa	16
2.2. Fotovoltaika.....	18
2.2.1. Umístění fotovoltaiky.....	19
2.3. Agrivoltaika.....	22
2.3.1. Oboustranná vertikální agrivoltaika	22
2.3.2. Horizontální agrivoltaika	24
2.4. Experimentální pole	26
3. Porovnání technologií.....	27
3.1. Energetická efektivita.....	27
3.1.1. Porovnání teoretického energetického výnosu.....	27
3.1.2. Porovnání reálné energetické efektivity.....	30
3.1.3. Akumulovatelnost	36
3.2. Obnovitelnost a udržitelnost.....	38
3.2.1. Materiálová obnovitelnost	38
3.2.2. Bilance organické hmoty v půdě.....	44
3.2.3. Eroze půdy	47
3.3. Ekologická stopa.....	51
3.3.1. Toxicita řepky	51
3.3.2. Toxicita fotovoltaiky.....	59
3.3.3. Uhlíková stopa	60
3.4. Rizikové faktory	63
3.4.1. Limitující fyzikální faktory	63

3.4.2.	Geografické limitující faktory	65
3.4.3.	Limitující znalostní faktory	66
3.4.4.	Porovnání	66
3.5.	Ekonomická efektivita	67
3.5.1.	Ekonomická efektivita bez optimalizace	67
3.5.2.	Ekonomická efektivita s optimalizací	69
3.5.3.	Nákladový a výnosový trend	71
3.5.4.	Porovnání	75
3.6.	Shrnutí	76
4.	Závěr	77
	Poděkování	80
	Seznam obrázků	81
	Seznam tabulek	82
	Seznam použité literatury, internetové zdroje a citace	83
	Příloha A	98

Seznam použitých značek, symbolů a zkratk

Zkratka	Název
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
ČOV	Čistička odpadních vod
EE	Elektrická energie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
ME	Mechanická energie
MEŘO	Methylester řepkového oleje
OTE	Operátor trhu s elektřinou a plynem
OZE	Obnovitelné zdroje energie
WHO	Světová zdravotnická organizace

1. Úvod

Celá naše západní civilizace je zásadním způsobem závislá na energii a způsobech jejího získávání. Dostupná energie je nezbytná k udržení našeho životního stylu a svým způsobem určuje uspořádání našeho světa. Nejenže ji využíváme na vytápění, na chod elektrických i elektronických zařízení a na dopravu, ale především podmiňuje funkční a konkurenceschopnou průmyslovou a hospodářskou infrastrukturu země.

V současné době energii získáváme převážně z ropy, uhlí a zemního plynu, což má za následek devastaci krajiny, zamořené životní prostředí a výrazné oteplování naší planety. Navíc se tyto zdroje obnovují zcela zanedbatelným způsobem v porovnání s tím, jakou rychlostí je čerpáme, a hrozí tedy, že v dohledné době vyčerpáme všechny jejich ekonomicky dostupné zásoby. Z těchto hledisek se celospolečenský přechod na obnovitelné zdroje energie (OZE) jeví jako racionální přístup.

Druhů OZE existuje celá řada, většina z nich je ovšem výrazným způsobem závislá na specifických lokálních podmínkách. Mezi takové zdroje patří zejména energie z větru, energie moře a geotermální energie. Kromě těchto specifických a v naší zemi obtížně využitelných OZE existují i dva obecné přístupy, které je možné aplikovat na naší planetě v podstatě kdekoli, protože přímo využívají nejběžnější a nejdostupnější ze všech zdrojů energie – energii sluneční.

První přístup spočívá v pěstování energetických plodin, které jsou zdrojem **biomasy**. Ty se pěstují na běžných polích nebo v lesích. Sklidí se a biomasa se energeticky využije buď spaláním v kotli, spalovacím motoru na biopaliva nebo se nechá rozložit v bioplynové stanici a spálí se až produkt tohoto rozkladu, jímž je bioplyn. Během spalování dochází k uvolnění oxidu uhličitého, nicméně v průběhu růstu rostlina absorbuje stejné množství oxidu uhličitého z atmosféry. Z tohoto pohledu je pěstování biomasy uhlíkově neutrální.

Druhý přístup spočívá v zachytávání slunečního záření pomocí **solárních kolektorů**. Tyto kolektory mohou mít formu termálního kolektoru, fotovoltaického panelu nebo popřípadě koncentrovaných solárních elektráren. Výhodou těchto systémů je, že nevyžadují mnoho údržby a produkují energii téměř „zadarmo“, nicméně na výrobu těchto zařízení je potřeba nemalé množství energie vynaložit a materiálové náklady jsou také zanedbatelné.

Cílem této bakalářské práce je tyto dva základní přístupy zhodnotit z hlediska energetického, ekologického a ekonomického, ale i z hlediska udržitelnosti.

Celý tento výzkum je vztažen primárně na prostředí České republiky, nicméně většina principů v práci uvedených je platných i za hranicemi naší země. V tomto srovnání bude biomasu jako OZE zastupovat **řepka olejná ozimá**, protože je z energetické biomasy nejrozšířenější. Solární energetika bude reprezentovaná **krystalickými křemíkovými fotovoltaickými panely**, protože ty mají v podmínkách ČR zcela dominantní postavení. Obě zmíněné technologie se těší u veřejnosti neobyčejně nízké oblibě. Otázkou je, zda oprávněně.

Smyslem práce je mimo jiné na základě konkrétního porovnání dvou dominantních reprezentantů OZE vyvodit obecnější závěry, které lze aplikovat na jakoukoliv energetickou biomasu (např. energetickou biomasu pěstovanou pro tepelné elektrárny nebo bioplynové stanice). Proto také příležitostně uvádím i další reprezentanty biomasy.

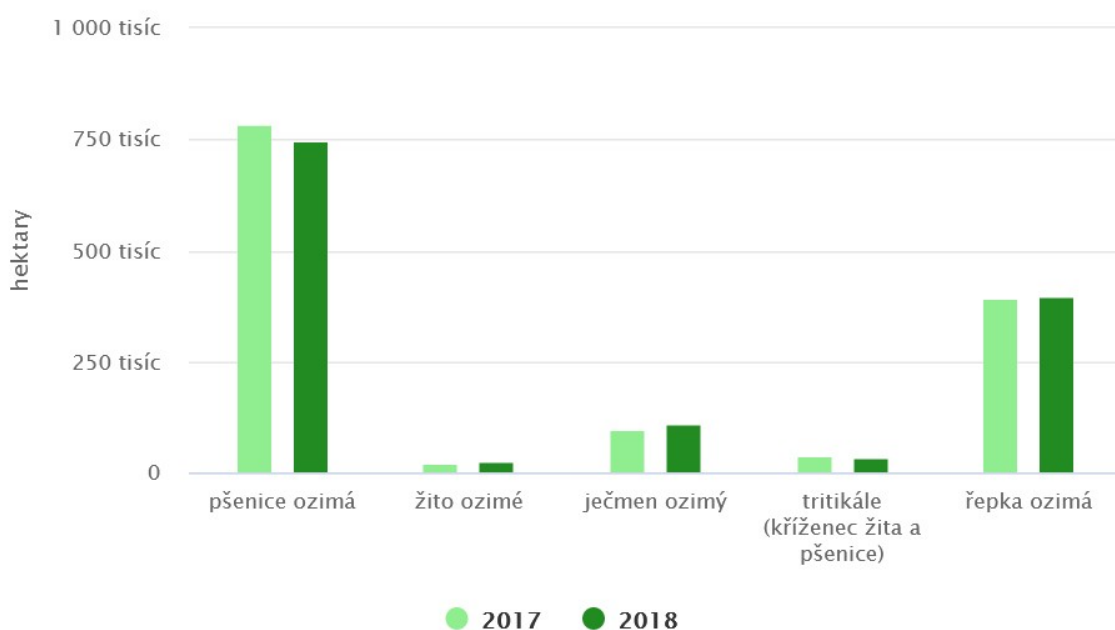
2. Technologie obnovitelné energetiky

V této kapitole se podrobněji seznámíme s našimi hlavními zástupci ideových směrů obnovitelné energetiky. Bude se jednat o **řepku olejnou ozimou** (dále jen „řepka“) a **fotovoltaiku křemíkových krystalických panelů** (dále jen „fotovoltaika“ nebo „fotovoltaický panel“). Také uvedeme čestného hosta **agrivoltaiku**, která se pokouší kombinovat to nejlepší z obou světů. Z důvodu omezeného rozsahu práce se jí ovšem nebudeme v dalších kapitolách věnovat podrobně.

2.1. Řepka

Řepka olejná se v naší zemi pěstuje již od 19. století. Je to nejvyužívanější olejnina a druhá nejvyužívanější plodina hned po pšenici. Faktem je, že v ČR máme na pěstování řepky velmi dobré přírodní podmínky, protože tato plodina vyžaduje mírné klima a střední úroveň vlhkosti. [51]

V ČR je v současnosti celkem 37,6 % orné půdy, z nichž 16 % je každoročně využíváno pro výsev ozimé řepky (obr. 2-1). Řepky ozimé máme každoročně na našich polích zhruba 400 tisíc hektarů, což odpovídá přibližně 5 % celkové rozlohy ČR, přičemž řepka jako předplodina zde není započítána. Zhruba 30 až 40 % z této celkové produkce je využito na produkci biopaliv. [55, 133]



Obrázek 2-1. Rozloha osázených polí v ČR podle typu plodiny. [5]

2.1.1. Pěstování a sklizeň řepky

Řepka se většinou pěstuje jako ozimá plodina. Vysévá se v druhé polovině srpna a sklízí se v druhé polovině července následující rok. Ze zemědělského pohledu je řepka také velmi dobrou mezipločinou nebo předplodinou, kdy se využívá její silné konkurenční schopnosti a následně se zaorá, čímž se zvýší obsah organické hmoty v zemi. Ideální jsou hlinité a hlinitopísčité půdy, ovšem musí být řádně hnojena. Černozem není tolik vhodná z důvodu velkého počtu škůdců. V celé EU se pěstuje pouze geneticky nemodifikovaná řepka. [6, 11, 62]

Řepka má silnou konkurenční schopnost. To znamená, že během jejího pěstování většinou není potřeba využívat herbicidy, protože řepka „přeroste“ své konkurenty (plevel). Řepka má spletitý a mohutný kořenový systém a má **protierozní účinky** – výhodou také je, že na poli je téměř celý rok a tedy půdu díky svému kořenovému systému chrání. Tento kořenový systém také pomáhá bojovat se zhutněním půdy, protože půdu „kypří“. Řepka je důležitou potravou pro včely jako zdroj medu (pylu a nektaru). Tento med je dokonce nutričně pro člověka příznivější než běžný medovicový med. [8, 51, 57]

Řepka je **velmi náchylná na choroby a škůdce**, což vyžaduje nutnost častějšího chemického ošetření v porovnání s jinými hospodářskými plodinami. Během jejího vegetačního období je podle pěstitelské příručky třeba až 22 postřiků! Reálně je těchto postřiků zhruba polovina, protože některé se jednoduše vynechávají a některé se kombinují (například ošetření proti krytonoscům a blýskáčkovi lze při vhodném načasování vyřešit jedním postřikem Nurelle D). Řepka je také poměrně agresivní rostlina, která vytahuje z půdy velké množství živin. Velké množství těchto živin se ovšem v případě posklizňového zaorání zase vrací do půdy. Z fytosanitárních důvodů není možné pěstovat řepku na jednom poli každý rok a je třeba ji střídat s dalšími plodinami (například s pšenicí). [63]

Z jednoho hektaru řepky je běžné získat dohromady zhruba osm až dvanáct tun rostlinného materiálu. Z toho jsou tři tuny ve formě semen a zbytek je ve formě řepkové biomasy (sláma a kořenová hmota). Tato biomasa se zaorává z důvodu udržení vysoké kvality půdy a navrácení části živin. Semena se sklízí a využívají se k výrobě oleje. Jejich olejová složka činí kolem 40 % (hm.). Olej je neobyčejně nutričně i energeticky hodnotný

a na jednotku hmotnosti obsahuje přibližně 2,5krát více energie než běžná biomasa. Olej se ze semen získává v prvním kroku mechanickým lisováním. Zbytková hmota po lisování se nazývá pokrutiny, a protože stále ještě obsahuje významné množství oleje, následuje obvykle ještě druhá fáze zpracování. V té je zbytkový olej extrahován pomocí organických rozpouštědel, přičemž pevný zbytek po tomto procesu se nazývá řepkový šrot. Ten je následně využíván jako zdroj hospodářského krmiva nebo (vzácně) pro energetické účely. [40]

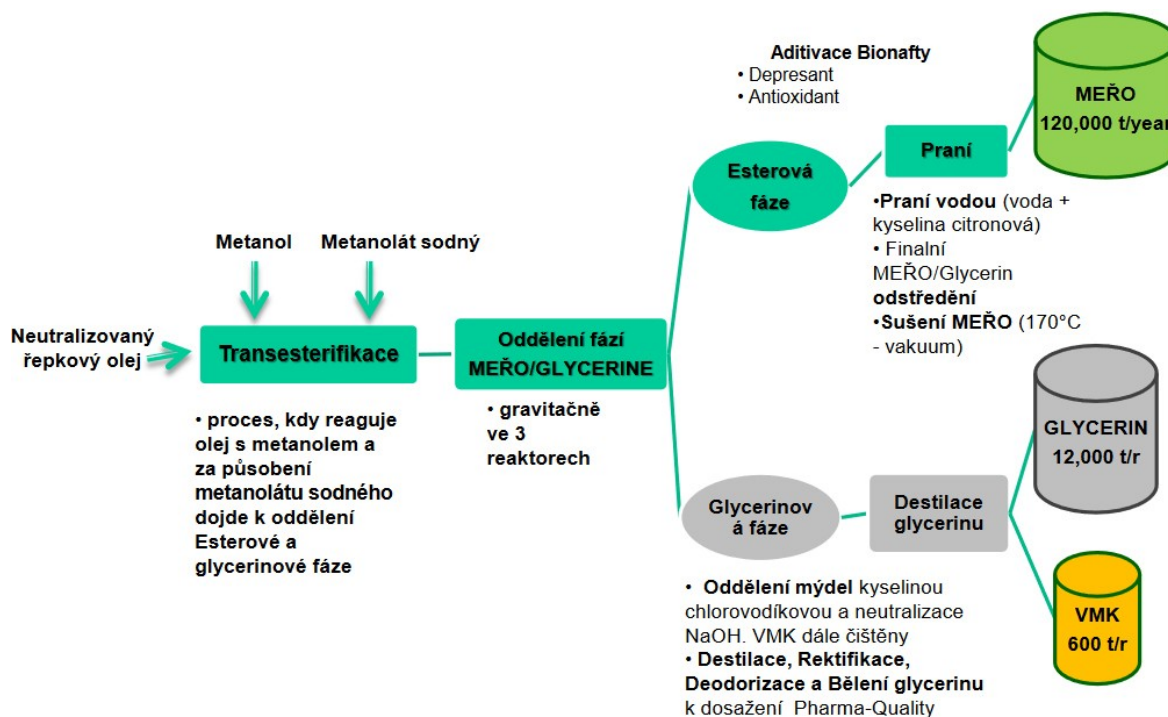
2.1.2. Řepkový olej jako potravina

Řepkový olej je levný, přesto z hlediska výživové hodnoty neobyčejně kvalitní a pro člověka zdravý. Obsahuje totiž nízké procento nežádoucích nasycených mastných kyselin a vysoké procento nenasycených mastných kyselin (až 65 %), které příznivě působí zejména na náš srdečně-cévní systém a obranyschopnost organismu. Na rozdíl od většiny ostatních rostlinných olejů (např. slunečnicový nebo sojový) má vyvážený poměr omega 3 a omega 6 částečně nasycených mastných kyselin. Kvalitní řepkový olej obsahuje řadu vitamínů, zejména v tucích rozpustné A, D, E, K, a také různé minerální látky (fosfor, hořčík...). Jako jediný z olejů má nejvyšší doporučení od Světové zdravotnické organizace (WHO). Potenciálně problematická je pouze kyselina eruková, té je ovšem díky šlechtění v řepkovém oleji obsaženo pouze několik desetin procenta a v tak malém množství je pravděpodobně zdraví neškodná. [8, 11, 57, 72]

Zde je ovšem třeba uvést, že všechny tyto pozitivní vlastnosti jsou platné pouze pro panenský řepkový olej lisovaný za studena. Řepkový olej, který prochází procesem rafinace, je ochuzený nejen chuťově a nutričně, ale může obsahovat také poměrně významné množství velmi nezdravých trans-mastných kyselin. [73]

2.1.3. Řepkový olej jako energetický produkt

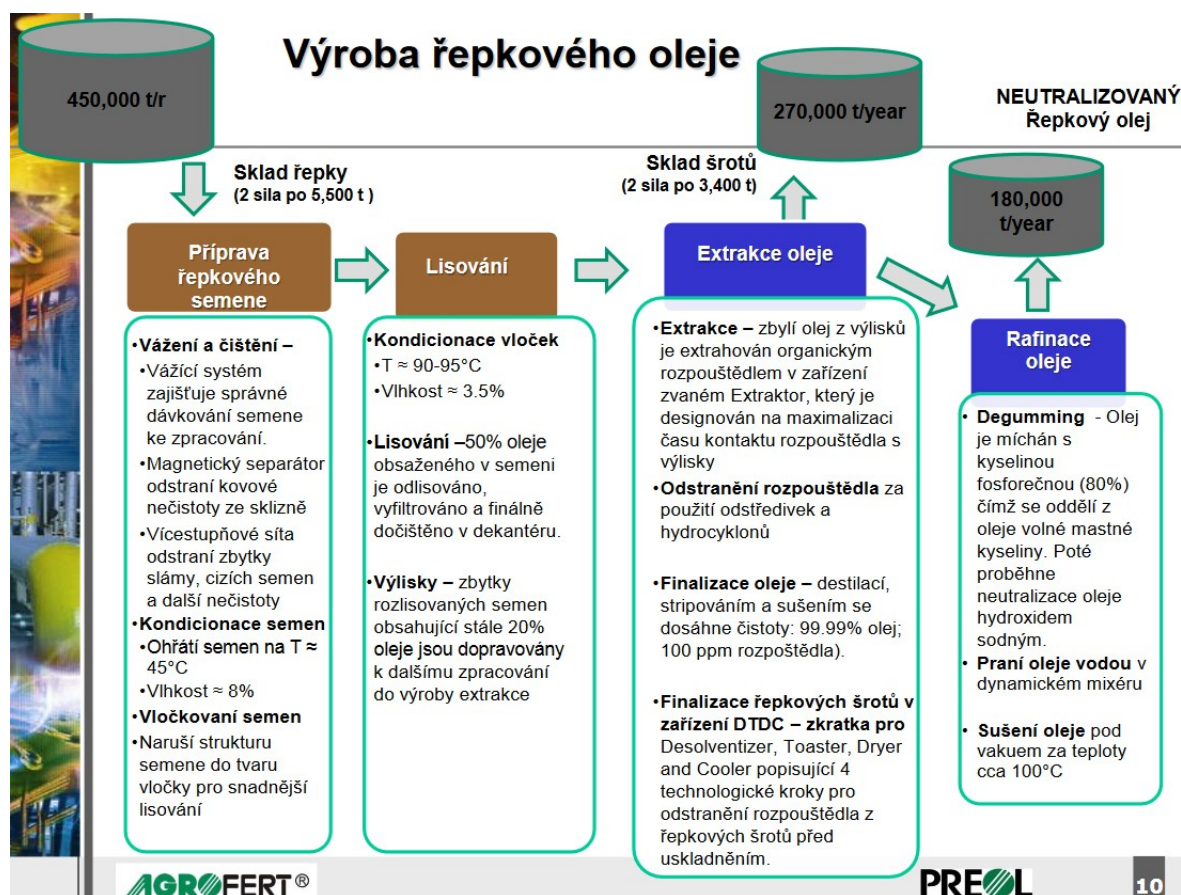
Olej řepky je dále možné esterifikovat. Během tohoto procesu se olej sloučí s alkoholem a metanolátem sodným za vzniku esteru řepkového oleje (MEŘO) a glycerolu (obr. 2-2). **Methylester řepkového oleje je následně možné použít jako biopalivo** pro vznětový motor (buď samostatně nebo ho lze přimíchat do nafty) a glycerol je možné využít například v kosmetickém průmyslu jako přísada hydratačních krémů (váže atmosférickou vlhkost a tím ji přenáší do povrchu těla).



Obrázek 2-2. Proces výroby MEŘO. [71]

2.1.4. Řepkový šrot

Významným vedlejším produktem po lisování semen řepky a následné extrakci je řepkový šrot (obr. 2-3). Tento šrot je v podstatě biomasa s velmi vysokou mírou dusíku ve formě dusíkatých iontů a draslíku, čímž se nehodí na následné energetické využití pomocí spálení (v kotlích se tvoří velmi tvrdé silikáty, čímž kotel poškozuje). Ideální teoretické využití je jeho zaorání, čímž bychom půdě vrátili velkou část potřebného dusíku a organické hmoty. To se ovšem z praktických důvodů neděje, protože zpracovatelské závody jsou velmi vzdálené od zemědělských farem, ze kterých pocházejí. Také zde není žádná finanční motivace. Další teoretické využití řepkového šrotu je výroba biouhlu pomocí pomalé pyrolýzy nebo využití v bioplynových stanicích. Prakticky se ovšem šrot využívá jen na tvorbu krmných směsí. Z tohoto hlediska je problematický nejen dusík, ale také obtížně stravitelná kyselina eruková, která je v pokrutinách hojně obsažená, a také zbytky organických rozpouštědel z procesu extrakce. Z těchto důvodů se používá v krmných směsích pouze v malém procentu (kolem 5 %). Většina řepkového šrotu se vyváží do zahraničí, zejména do Německa. [70, 74]

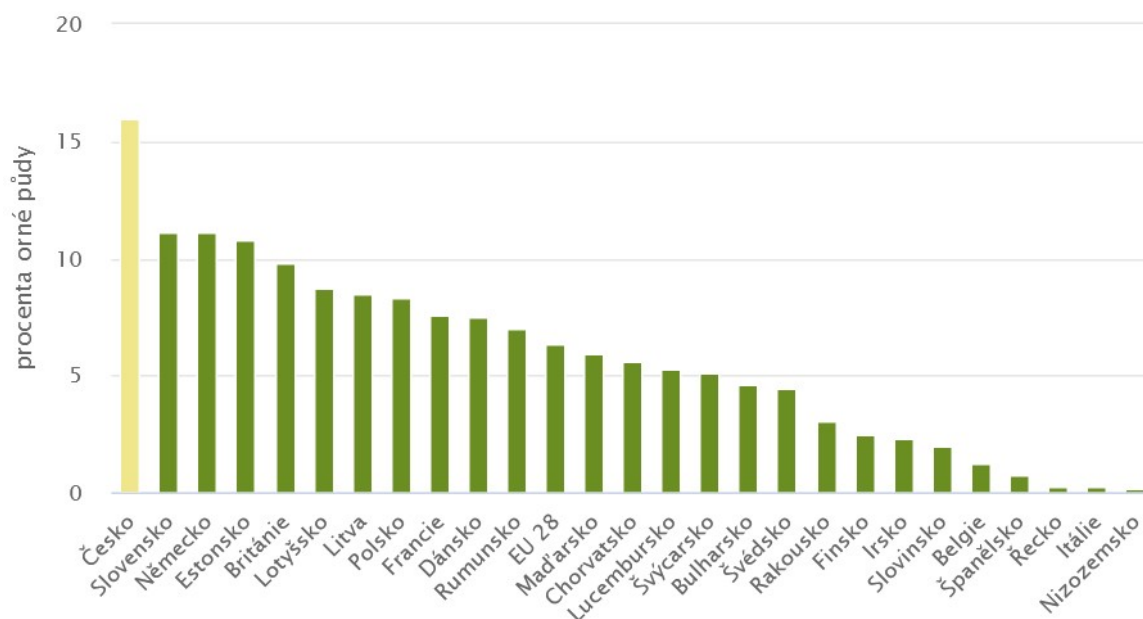


Obrázek 2-3. Proces výroby řepkového oleje. [71]

2.1.5. Vliv Evropské unie na pěstování řepky

Evropsá unie (EU) od roku 2003 zavádí požadavky na zvyšování obnovitelné složky energie využívanou v dopravě a na povinné přimíchávání biopaliv první generace (tedy primárně pěstované) do pohonných hmot. V roce 2007 je na základě těchto požadavků v ČR uveden v platnost zákon, který vyžaduje povinné přimíchávání 4,1 % biosložky do benzínu a 6 % do nafty. Zajímavostí je, že tento zákon byl v naší zemi uveden v platnost ve značném předstihu a hodnoty byly přísnější než vyžadovala EU. [12]

Na základě prvních zkušeností s biopalivy vydává EU v letech 2009 a 2015 nové směrnice, kde přiznává svou chybu a připouští, že biopaliva první generace nespĺnila očekávání a doporučuje využívat spíše biopaliva druhé generace (biopaliva zejména z odpadu) a podporovat elektromobilitu. ČR však s implementací těchto nových směrnic zatím příliš nepokročila (obr. 2-4). Na produkci biopaliv druhé generace nejsou prý k dispozici vhodné technologie a pro podporu elektromobility chybí ochota na vládní úrovni. [7]



Obrázek 2-4. Relativní zastoupení řepky na orné půdě v zemích EU v roce 2017. [5]

2.1.6. Ostatní energetická biomasa

Velmi rozšířeným způsobem je cílené **pěstování energetické biomasy**. Tato biomasa roste obvykle několik let. Jedná se často o rychle rostoucí dřeviny (topoly...) nebo traviny (Miscanthus Gigantus...). Životnost těchto vytrvalých plantáží energetických plodin zpravidla nepřesahuje 20 až 25 let. Půda je po této době značně zdevastovaná a plantáž následně vyžaduje rekultivaci v podobném časovém horizontu. Po sklizni (sklízí se obvykle veškerá nadzemní biomasa) nastává fáze sušení. Biomasa má v porovnání s uhlím složitější chemickou strukturu, déle se vysouší, není možné ji snadno rozemlít na prášek (pro práškový kotel) a je tedy potřeba ji **spalovat v elektrárenském fluidním kotli**. To má za následek, že výkon elektrárny na biomasu je obvykle pouze 75 % v porovnání s moderní uhelnou alternativou, tedy účinnost přeměny na elektrickou energii se pohybuje pouze kolem 30 %. [23]

Dalším rozšířeným způsobem je pěstování **biomasy pro siláž v bioplynových stanicích**. Zde pak dochází k metanovému kvašení a vzniku bioplynu. Ten je pak možné **spálit v kogenerační jednotce** za vzniku energie a tepla. Zde je dosahována elektrická účinnost až 40 %, nicméně značná část vyprodukované elektrické energie i tepla je potřeba na provoz samotné stanice.

Posledním alternativním způsobem je **pěstování biomasy na výrobu bioethanolu**. K tomu se využívá především technické kukuřice a technické cukrové řepy. Bioethanol vzniká pomocí alkoholového kvašení a je následně **spálen jako biopalivo v zážehovém motoru**.

V roce 2016 se pěstovala na 85 tisících hektarech kukuřice převážně na siláž do bioplynových stanic a na tvorbu bioethanolu. Na 12 tisících hektarech se pěstovala technická cukrová řepa na bioethanol. Řepka na bionaftu se pěstovala na 109 tisících hektarech orné půdy. Dohromady se jednalo o 206 tisíc hektarů, což je 2,6 % rozlohy ČR využitě pro čistě energetické účely. Rozloha jen na výrobu biopaliv se v Česku pohybuje zhruba na 163 tisících hektarech. Přesto to našim legislativním normám nestačí, takže každoročně se zhruba třetina až polovina biopaliv musí ještě dovážet. [37, 70]

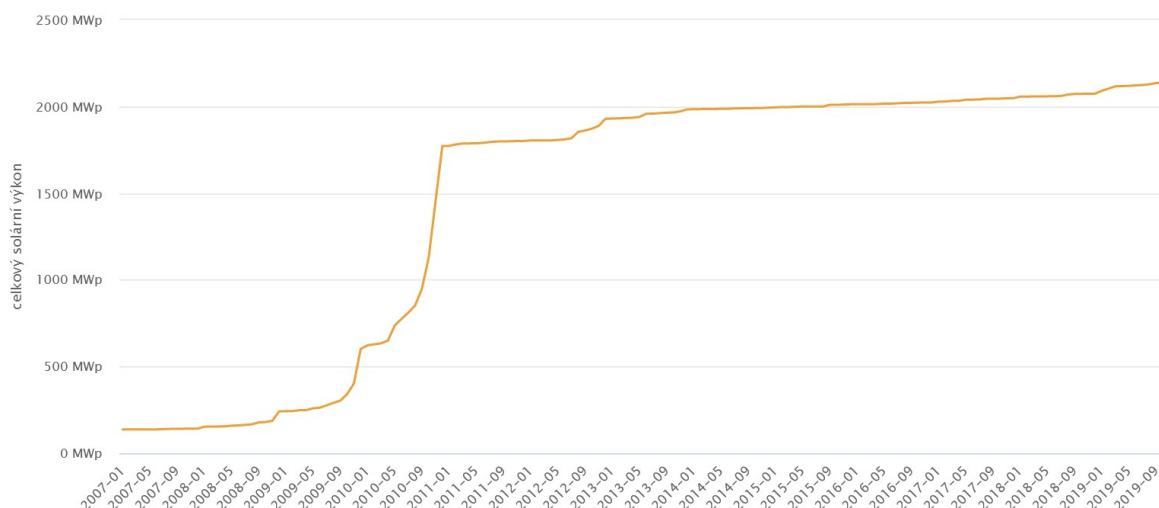
Kromě primární produkce je ovšem možné **produkovat biomasu také z odpadů**, ovšem v podstatně menší míře. Pro fluidní kotel se může použít například odpad z dřevařských závodů, pro bioplynovou stanici odpad z potravinářské výroby, kaly z čističek odpadních vod nebo septiků či biologicky rozložitelný komunální odpad. Pro výrobu bio olejů pro dopravu je teoreticky možné využít vysloužilých olejů z gastronomických provozoven.

Tabulka 2-1. Možnosti využití energetické biomasy. [23]

Biomasa	Spalování	Zpracování na biopalivo	Zplyňování a pyrolýza	Alkoholové kvašení	Metanové kvašení
Energetické technické plodiny	XXX	XXX	X	XXX	XX
Rostlinné odpady ze zemědělské prvovýroby	XXX	X	XX		XX
Odpady z živočišné výroby	X		X		XXX
Komunální organické odpady	XXX		X a XX		XXX
Organické potravinářské odpady					XXX
Odpady z dřevařských provozů	XXX		XX		
Lesní odpady	XXX		X	X	X
Získané produkty	teplo	oleje a estery	hořlavý plyn, uhlí, olej	etanol, metanol	bioplyn

2.2. Fotovoltaika

Fotovoltaika je elektrické zařízení, které z dopadajícího světla vyrábí elektrickou energii ve formě stejnosměrného proudu. V naší zemi se před rokem 2009 téměř nevyskytovala. Pak se díky velmi štědré a zřejmě nepříliš šťastně nastavené státní podpoře její množství během několika let více než zdesetinásobilo (obr. 2-5). Do dnešního dne je státní rozpočet výrazným způsobem zatížen výplatou dotací pro provozovatele těchto elektráren.



Obrázek 2-5. Kumulativní výkon fotovoltaiky v ČR. [4]

Fotovoltaická elektrárna se obvykle skládá nejen z panelů, ale také z konstrukce, kabeláže a měniče. Životnost panelů, konstrukce i kabeláže se odhaduje nejméně na 25 až 30 let. Životnost měniče je zhruba 10 let. Výkonnost fotovoltaických panelů v čase lehce klesá, nicméně většina výrobců dává záruku maximálního poklesu výkonu o 10 % za 10 let provozu a 20 % za 25 let. Panely produkují energii celoročně v přímé závislosti na intenzitě slunečního svitu.

Elektrárnu je možné instalovat i demontovat v řádu týdnů a její provoz je nízkoúdržbový. Jednou za čas je třeba posekat trávu, aby nezakrývala solární panely (pokud není pravidelně spásána například ovci). Souhrnně všechny instalace fotovoltaických panelů v ČR zabírají asi 4 tisíce hektarů.

Podle některých názorů je fotovoltaika nepříjemným zdrojem vizuálního znečištění krajiny. Další její nevýhodou jsou poměrně vysoké instalační náklady.

2.2.1. Umístění fotovoltaiky

„Podle šetření Agrární komory zabírá fotovoltaika zabírá 4 tisíce hektarů nejkvalitnějších polí, na kterých by bylo možné vypěstovat pšenici na 20 milionů bochníků chleba ročně“. [37] Toto velmi emotivní tvrzení je dosti zavádějící, protože zdaleka ne všechny solární instalace stojí na orné půdě. Při zkoumání deseti největších FVE v ČR jsou na orné půdě umístěny pouze tři z nich, dalších pět je umístěných na ostatní ploše (brownfieldy nebo části stávajících průmyslových areálů) a dvě jsou na trvalém travním porostu. Fotovoltaické elektrárny je pochopitelně rozumné umisťovat mimo ornou půdu, k čemuž se nabízejí například následující možnosti: [75, 89, 134]

Trvalý travní porost, tedy zejména louky a pastviny, zabírají 12,7 % rozlohy ČR a slouží primárně k získávání sena nebo ke spásání hospodářskými zvířaty. Fotovoltaické elektrárny spásání žádným způsobem nebrání, naopak se s ním skvěle doplňují (vysoký porost by bez spásání musel být posekán). Na dobře zvoleném místě mohou FVE dávat smysl. Elektrárny není nutné kotvit do betonového podloží, je možné je postavit na rozložitelnou hliníkovou konstrukci. Výhodou jsou relativně nízké náklady na instalaci (stejně, jako při stavbě na poli), nevýhodou je potenciální vizuální agresivita a přerušení průchozích cest. Travní porost představuje většinou zemědělskou půdu, která se nehodí na orbu (příliš svažitá pro zemědělské stroje, kamenitá, kyselá apod.), a proto je obecně o 20 % levnější než orná půda, což je pro investora výhodné. Pokud předpokládáme, že pouze 5 % travních porostů je vhodných k instalaci FVE, stále se jedná o **potenciál 50 000 ha**. [76]

Zastavěné plochy a nádvoří zabírají 1,7 % rozlohy ČR, tedy zhruba 132 500 ha. Do této plochy se řadí ovšem i předzahrádky, terasy, verandy, průchozí pásy či dvory, které se pro umístění fotovoltaiky nehodí. Z hlediska fotovoltaiky nás zajímají pouze střechy (jak budov, tak garáží). Jejich rozlohu lze odhadnout na 60 % v poměru k celkové rozloze *Zastavěných ploch a nádvoří*. Pokud vyloučíme střechy zastíněné, konstrukčně nedostatečné nebo části střech orientované severně, můžeme počítat řekněme s 25 % těchto střešních ploch, což nám stále dává **střešní potenciál pro fotovoltaiku zhruba 20 000 ha**, což je více než šestinásobek současné instalace. Výhodou je nízká vizuální agresivita, obecná akceptovanost a zejména možná **lokální spotřeba**, nevýhodou jsou větší náklady na instalaci.

Česká republika také disponuje dostatečným množstvím **brownfieldů**, tedy především opuštěných průmyslových a zemědělských areálů, opuštěná nákupní centra apod. Podle údajů ministerstva zemědělství existuje v Česku 3 620 zemědělských brownfieldů a celkem se odhaduje 10 000 různých objektů o rozloze až 38 tisíc hektarů. Fotovoltaika v bývalých kravínech tak může přinést i nová pracovní místa pro český venkov. Brownfieldy jsou ideální, protože kloubí jak nízkou vizuální agresivitu, tak nižší náklady na instalaci FVE. Při využití zhruba 10 % těchto **brownfieldů získáváme potenciál 4 000 ha.** [37, 77]

Dále je možné fotovoltaické panely umísťovat na **velká nadzemní parkoviště** převážně u obchodních center, hobby marketů a hypermarketů. Výhodou je nízká vizuální agresivita, poskytování stínu pro zákazníky a možnost lokální spotřeby elektrické energie pro elektromobilitu nebo provoz centra, nevýhodou jsou větší náklady na instalaci. Rozlohu těchto území je obtížné dohledat, protože jsou vedena v katastru nemovitostí různými způsoby. Lze ovšem předpokládat, že se bude jednat o jeden nebo více tisíc hektarů využitelné plochy. [76]

Pásky podél dálnic mohou poskytnout panelům další útočiště. Jsou obvykle 5 m široké (někdy až 10 m). Tyto pásy jsou vždy pod stejným majitelem (Ředitelství silnic a dálnic ČR), což by značně zjednodušilo případné vyjednávání. Dále se nabízí synergie s dobíjecími stanicemi pro elektromobily. Výhodou je nízká vizuální agresivita (krajinný ráz je již znehodnocený dálnicí), nevýhodou je potenciální nebezpečnost a volný přístup k panelům. V ČR je délka dálnic přibližně 1 210 km a pokud počítáme 0,8 ha FVE na km dálnice, získáváme **potenciál tohoto území 1 000 ha.** [78]

Fotovoltaické panely je možné umísťovat také pomocí plováků na hladinu nádrží a rybníků. Obzvláště zajímavý potenciál mají plochy, které vzniknou v budoucnu zatopením povrchových dolů, protože jsou velmi rozsáhlé a i s fotovoltaikou na hladině to budou lidé vnímat jako krok k hezčímu prostředí. Výhodou bude přirozené vodní chlazení, které zvyšuje výkon fotovoltaiky o 10 až 15 %, snižování odparu vody a potlačení vzniku řas stíněním slunce. Nevýhodou bude potenciálně vyšší znečištění panelů. V naší zemi máme zhruba 100 000 ha nádrží a rybníků. Pokud využijeme pouhé 1 % těchto **vodních ploch, získáme potenciál 1 000 ha.** [79]

Není tedy pravda, že fotovoltaika musí nutně zabírat ornou půdu. V naší zemi lze uvažovat **potenciál fotovoltaiky mimo ornou půdu na 80 000 ha.**

Smyslem této kapitoly není tvrdit, že by bychom měli bezmyšlenkovitě pokrýt těchto 80 000 ha plochy naší republiky fotovoltaickými panely. Smyslem bylo pouze ukázat, že na instalaci FVE existuje velmi mnoho příhodných míst.

2.3. Agrivoltaika

Fotovoltaické elektrárny situované na orné půdě jsou kritizované pro nemožnost využití půdy na produkci potravin. S odpovědí na tuto kritiku přichází agrivoltaika, která spojuje to nejlepší jak ze světa fotovoltaiky, tak ze světa tradičního zemědělství.

Toto symbiotické spojení je obzvláště vhodné pro stínobytné rostliny, které tradičně rostou v zastíněném lesním podrostu. Půda je chráněna před vysycháním a je tedy snížena spotřeba vody na závlivu (půda s agrivoltaikou má o 15 % víc vlhkosti). Rostliny jsou díky panelům chráněny proti prudkému slunečnímu záření, nejsou vystavovány teplotním šokům (panely přes den díky stínění snižují teplotu a v noci ji naopak zvyšují) a množství vlhkosti v půdě je udržováno na stabilnější úrovni, což přispívá k rychlejšímu růstu rostliny. Konstrukce fotovoltaických panelů je možné využít pro lepší zachyt dešťové vody. Fotovoltaické panely benefitují zvýšeným výkonem v letních měsících, protože rostliny mají na panely chladivý vliv, což má pozitivní efekt na snížení vnitřního elektrického odporu panelu a tedy zvýšení výroby energie. Tato energie může být obratem využita například pro pohon elektrifikovaných traktorů. Vhodně zvolené rostliny mají také vyšší výnos. V americké Arizoně byl díky výzkumu takto prokázán dvojnásobný výnos při pěstování cherry rajčat. Velmi efektivní je pod panely pěstovat také saláty, chmel, brambory, kukuřici, jetel a mnoho dalšího. Leč třeba slunečnice je pro agrivoltaické účely nevhodná. Podle jiných zdrojů se při agrivoltaice velmi daří také rajčatům, chilli papričkám, pepři a bylinkám. [15, 29]

Toto synergické spojení zemědělství a fotovoltaiky v současné době prochází velmi bouřlivými inovacemi a nadějně vypadají zejména metody *Oboustranná vertikální agrivoltaika* a *Horizontální agrivoltaika*.

2.3.1. Oboustranná vertikální agrivoltaika

Výhodou tohoto systému je zejména jeho jednoduchost a vynikající synergie se současným denním trhem elektrické energie.

Vertikální fotovoltaika se hodí zejména pro rostliny, které vyžadují více přímého slunečního záření. Svislé panely mohou oddělovat menší lány polí (8–15 m široké), a sloužit tak jako nástroj k oddělení různých plodin (nepřímá podpora biodiverzity).

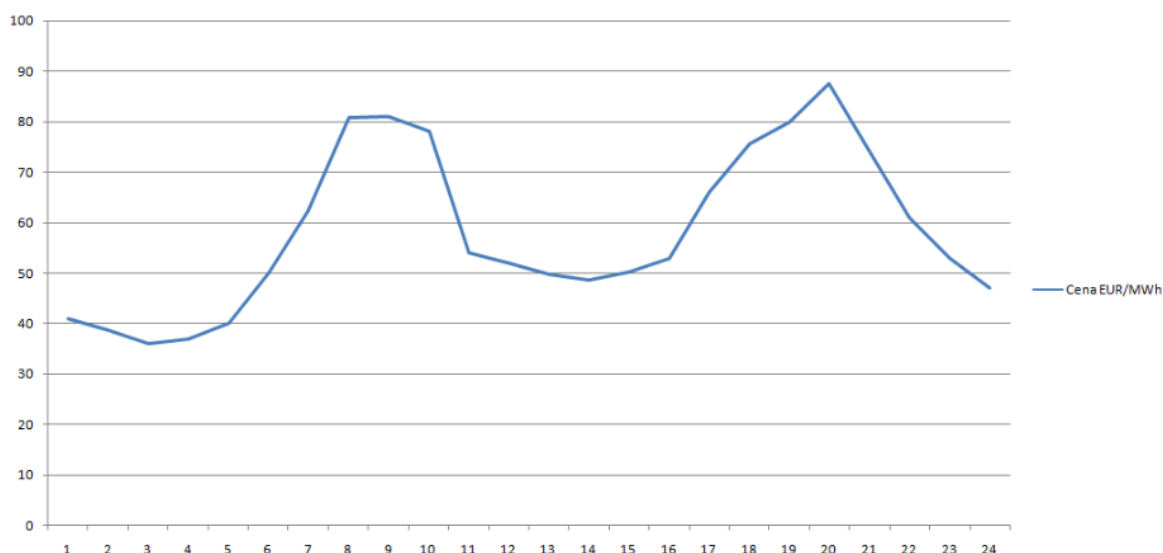
V lánech mezi panely je také možné do značné míry používat běžnou zemědělskou techniku (obr. 2-6). Mimo zemědělství je tento druh fotovoltaických elektráren využíván též jako součást protihlukových stěn. Konstrukce fotovoltaických panelů může být také použita pro natažení ochranné sítě proti ptákům a škůdcům. [15]

Tyto oboustranné panely se orientují východo–západně v dostatečných rozestupech, aby si vzájemně nestínily. Obrovskou výhodou tohoto přístupu je, že panely vyrábí nejvíce energie v odběrových špičkách – tedy zejména ráno a večer – nikoliv v poledne jako jižně orientované panely, tedy jejich energie je podstatně cennější na denním, vnitrodenním i vyrovnávacím trhu s elektrickou energií.

V tomto řešení zabírá fotovoltaika méně než 1 % obdělávané půdy. Díky tomu je ovšem celková roční výroba takové elektrárny na jednotku plochy pochopitelně nižší než u klasické fotovoltaiky – zhruba 35 %. Oboustranný panel je ovšem dražší než jednostranný panel (potřebuje dvě křemíkové vrstvy a dvě skla). Na druhou stranu, výtěžnost oboustranného východo–západně orientovaného panelu je v porovnání s jižně orientovaným panelem až o 30 % lepší a cena takové energie je na denním trhu OTE minimálně o 10 % vyšší (obr. 2-7). [16, 19]



Obrázek 2-6. Vertikální agrivoltaika. [14]



Obrázek 2-7. Cena elektrické energie z 11. 10. 2018 na denním trhu OTE. Osa X reprezentuje hodiny, osa Y reprezentuje cenu EE (EUR/MWh). Tato distribuce je velmi podobná i další pracovní dny. [17]

2.3.2. Horizontální agrivoltaika

U této metody se používají buď klasické fotovoltaické panely, oboustranné panely nebo poloprůsvitné panely. Tyto panely se instalují na visuté cca 5 m vysoké konstrukce. Tento model je výhodný pro vysoké nebo stínobytné rostliny (obr. 2-8).

Při správném rozestupu panelů je možné odstínit až 75 % přímé viditelné složky slunečního záření. Zbytkové a rozptýlené světlo je pro vývoj mnohých rostlin dostačující, ne-li ideální. [15]



Obrázek 2-8. Horizontální agrivoltaika. [13]

Výhodou tohoto modelu je fakt, že panely fungují zároveň jako štít proti kroupám, silnému dešti nebo větru (podobně jako koruna stromu). Zároveň se jedná o řešení velmi vhodné do oblastí ohrožených suchem, protože půda pod fotovoltaikou si zachovává více vláh.

Při experimentálním měření v Německu se ukazuje, že u této metody se lépe daří pšenici i bramborám (výnosy o 3 % vyšší než u přímého oslunění) a velmi dobře celeru (výnosy vyšší o 12 %). Tento experiment byl nastavený tak, aby dopadající sluneční záření na jednotku plochy bylo o třetinu menší než referenční přímé sluneční záření. V Indii dochází k vyššímu výnosu při pěstování rajčat dokonce o 40 %. Podle jiných zdrojů se při tomto typu agrivoltaiky daří bramborám, fazolím, salátu a chmelu. Nedaří se ovšem obilí a slunečnicím. Poměrně vhodná je také kombinace s řepkou. [18, 37]

Další zajímavou urbanistickou alternativou agrivoltaiky jsou zelené střechy v kombinaci s fotovoltaikou. V takovém modelu by nízké střechy v zástavbě měly větší převahu zelených střech, protože ty působí pro město i pro dům jako přirozená klimatizace. Výše položené střechy by naopak měly větší poměr fotovoltaických panelů, protože tam již budou méně vizuálně rušivé a tepelná synergie mezi fotovoltaikou a rostlinami bude stále fungovat. [69]

Přestože je agrivoltaika velmi zajímavý koncept, nebudeme se jí v této práci dále hlouběji zabývat.

2.4. Experimentální pole

Abychom si proces kolem pěstování řepky a používání fotovoltaiky vyzkoušeli také prakticky, založili jsme s kolegou Davidem Hamrem experimentální pole (obr. 2-9). Na tomto poli jsme 1. září 2019 na rozloze jednoho aru zaseli řepku a na vedlejší volné ploše o stejné výměře jsme instalovali fotovoltaický panel, zbytek jsme nechali ležet ladem. Nechali jsme si vypracovat rozbor půdy a o řepku se celý rok staráme v průmyslovém standardu, tedy aplikujeme odpovídající množství minerálních hnojiv, pesticidů i dalších pomocných chemických látek. U fotovoltaiky využíváme produkovanou energii pro napájení LED osvětlení a množství této energie zaznamenáváme elektroměrem.

Cílem experimentu je kromě získání praktických zkušeností také porovnání prosperity obou technologií v opravdu identických podmínkách.

Vzhledem k tomu, že experiment bude plně dokončený až po odevzdání této práce, budu se v následujících kapitolách pouze tu a tam odkazovat na některé průběžné poznatky.



Obrázek 2-9. Experimentální pole. Záběr je z 16. 9. 2019.

3. Porovnání technologií

Abychom mohli rozhodnout, která z uvedených technologií je pro obnovitelnou energetiku praktičtější, je vhodné obě technologie porovnat podle několika kritérií:

- Energetická efektivita
- Obnovitelnost
- Ekologická stopa
 - Lokální
 - Globální
- Ekonomická efektivita
- Limitující faktory

Data pro tyto porovnání byla získávána zejména z akademických prací, studií a odborných článků publikovaných na Internetu. Klíčová data byla vždy ověřena z několika různých nezávislých zdrojů.

3.1. Energetická efektivita

Energetická efektivita je obvykle nejvýznamnější fundamentální faktor obnovitelného zdroje a je silným základem jak pro ekologickou, tak ekonomickou efektivitu.

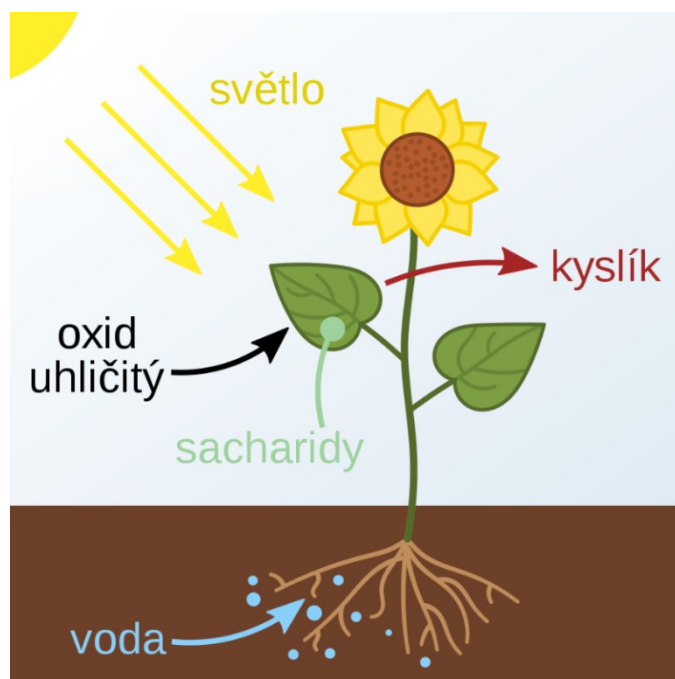
Energie uložená v biomase vzniká díky působení *fotosyntézy*. Elektrická energie ve fotovoltaickém panelu vzniká díky působení *fotoelektrického jevu*. Proto je nezbytné, abychom tyto dva zcela odlišné jevy vzájemně porovnali jak z teoretického hlediska, tak z hlediska reálných výnosů.

3.1.1. Porovnání teoretického energetického výnosu

Fotosyntéza je velmi komplexní chemická reakce, při které je na vstupu sluneční záření (dopadající na listy), voda (čerpaná ze země kořeny) a oxid uhličitý (čerpaný z atmosféry). Výstupem je kyslík a sacharid glukóza (ten slouží jako zdroj energie a také v syntetizované formě složitějších molekul jako stavební materiál rostliny). S trochou nadsázky by se dalo říci, že při fotosyntéze „rostlina roste ze vzduchu“, protože dokáže uhlík z plynného skupenství přeměnit do pevného skupenství sacharidu (obr. 3-1). Z energetického

hlediska dochází k přeměně energie světelného záření na energii chemických vazeb. Základní zjednodušená rovnice fotosyntézy (vztah 3.1): [25]

(3.1)



Obrázek 3-1. Zjednodušené schéma fotosyntézy. [25]

Teoretická účinnost fotosyntézy za ideálních podmínek (dostatek vody, dostatek oxidu uhličitého, správná intenzita slunečního záření) je kolem 4 % (podle některých dalších zdrojů pro některé typy fotosyntézy až 6 %). Toto procento udává ideální procento přeměny energie ve formě slunečního záření na energii ve formě chemických vazeb v podobě sacharidu (cukru). Intenzivně ošetřované plodiny s dostatkem vody a živin mohou dosáhnout průměrné reálné účinnosti 2 % a nejproduktivnější lesy dosahují v průměru asi 1,5 %. **Obecně se ovšem uvažuje o běžném zisku z fotosyntézy 1 %** (zbytek je rostlinou využit na vnitřní procesy v rostlině – tedy respiraci, příjem živin z půdy, syntézu vyšších organických sloučenin, jejich transport v rostlině a podobně). Toto jedno procento se projevuje v podobě růstu rostliny. [21, 23]

Fotoelektrický jev je fyzikální proces, pomocí kterého se dopadající sluneční záření přeměňuje na elektrickou energii. Teoretická účinnost této přeměny byla dlouho uváděna jako 33,2 %. Při použití vícenásobných přechodů je ovšem tato teoretická účinnost

uváděna jako 68,7 %. Tohoto jevu využívají fotovoltaické články, které jsou základní stavební jednotkou každého fotovoltaického panelu. V laboratorních podmínkách se podařilo vyvinout článek s reálnou účinností 33,3 %. **Běžná účinnost dnešních nových fotovoltaických panelů se pohybuje kolem 20 %.** Rovněž lze usuzovat, že v budoucnu se bude tato účinnost ještě zvyšovat (příloha A). [42, 43, 44, 45]

Pokud porovnáme *fotosyntézu s fotoelektrickým jevem*, druhý ze zmíněných procesů se jeví jako podstatně efektivnější způsob, jak získávat energii ze slunečního záření. Výstupem fotosyntézy je *energie ve formě chemických vazeb* (cukr), zatímco výstupem fotoelektrického jevu je *elektrická energie*. Je tedy třeba dál zkoumat, která z těchto forem je pro nás lépe využitelná.

Energie ve formě chemických vazeb versus elektrická energie

Fotosyntéza má nepopiratelnou výhodu v tom, že její produkt (energie ve formě chemických vazeb) je možné velmi dobře skladovat. Elektrickou energii je ve větším množství velmi problematické skladovat a je tedy nutné ji skladovat v jiné formě energie. Jako nejpraktičtější se jeví její transformace do mechanické potenciální energie, protože tato transformace je velmi efektivní a lze ji stejným zařízením (elektromotorem-generátorem) snadno převést zpět na elektrickou energii. K tomuto účelu se používají například klasické přečerpávací vodní elektrárny, ale vyvíjejí se i nové velmi nadějně technologie. [47]

Pokud chceme produkt energie ve formě chemických vazeb převést na mechanickou energii (například k uvedení automobilu do pohybu), potřebujeme tuto energii přeměnit. K tomu se obvykle používá spalovací motor. **Spalovací motor má obvykle účinnost kolem 35 %.** V případě elektrické energie je naopak konverze do mechanické energie velmi snadná a účinná pomocí **elektromotoru, kde se účinnost přeměny pohybuje kolem 97 %.** [38, 46]

Porovnání fotosyntézy a fotoelektrického jevu

S ohledem na běžné využití biopaliv zvolme, že porovnání fotosyntézy i fotoelektrického jevu založíme na výstupním množství mechanické energie. Dále toto porovnání vztáhneme na jednotku plochy, na které zvolený princip absorbuje sluneční záření.

Pokud zanedbáme jakékoliv náklady, je možné odhadovat, že energetický systém produkující mechanickou energii založený na **fotovoltaickém systému ve spojení s elektromotorem bude na jednotku plochy 55x účinnější než systém založený na fotosyntéze ve spojení se spalovacím motorem** (vztah 3.2).

(3.2)

$$R_{fjvsfs} = n_{ch2me} \times n_{ee2me} / n_{fs} \times n_{ch2me}$$

$$R_{fjvsfs} = 0,2 \times 0,97 / 0,01 \times 0,35 = 55,4$$

kde

n_{fs}	účinnost fotosyntézy	[%]
n_{fj}	účinnost fotoelektrického jevu	[%]
n_{ch2me}	účinnost konverze chemické energie do mechanické energie	[%]
n_{ee2me}	konverze elektrické energie do mechanické energie	[%]
R_{fjvsfs}	poměr energetických efektivit fotoelektrického jevu a fotosyntézy vztahených na výstupní ME a jednotku plochy	[-]

3.1.2. Porovnání reálné energetické efektivity

Abychom mohli posoudit energetickou efektivitu řepky a fotovoltaiky, je třeba nejprve spočítat jejich:

- roční energetický výnos,
- roční energetický náklad,
- roční energetický zisk (zisk = výnos - náklad).

V dalším kroku tyto zisky vzájemně porovnáme. Z praktických důvodů nebudeme pro výpočty nadále v této práci využívat odvozenou jednotku SI soustavy joule (J), ale běžněji využívanou jednotku watthodina (Wh).

Roční energetický výnos

Z jednoho hektaru pole určeného na pěstování *energetické plodiny* lze obvykle získat zhruba deset tun sušiny biomasy ročně. Průměrná výhřevnost suché biomasy je 15 MJ na kilogram. To tedy po přepočtu odpovídá 42 MWh primární energie (vztah 3.3). Vzhledem ke stejnému druhu energetické technologie (fotosyntéza) bychom měli dostat podobné hodnoty nejen pro energetickou biomasu (určenou pro spalování v kotli), ale také pro siláž pro bioplynovou stanici nebo řepkový olej. [23]

(3.3)

$$E_{pb} = (H_{\check{r}o} / 3\,600) \times Y$$

$$E_{pb} = (42 / 3\,600) \times 10\,000 = \mathbf{42\,MWh}$$

kde

$H_{\check{r}o}$	výhřevnost biomasy	[MJ]
Y	výnos biomasy na hektar	[kg]
E_{pb}	primární energie obsažená v biomase na hektar	[MWh]

V případě ozimé řepky olejné se jedná o roční produkci zhruba tří tun sušiny biomasy ročně a zhruba tří tun semen (podle jiných zdrojů řepka vydá pět až sedm tun slámy, jednu až čtyři tuny sušiny kořenové hmoty včetně strniště a tři až čtyři tuny semen). Z těchto semen získáme lisováním olej průměrně o třetinové hmotnosti, tedy zhruba jednu tunu oleje. Je ovšem třeba připustit, že po lisování nám zůstanou také energeticky hodnotné pokrutiny (dvě tuny), které ještě obsahují část oleje a přestože mají příliš vysoké hodnoty dusíku, mohou být použity jako krmivo nebo teoreticky jako nepříliš vhodná energetická biomasa. Počítejme tedy s celkovým energetickým výnosem ekvivalentnímu dvěma tunám oleje. Kilogram řepkového oleje má výhřevnost 37 MJ, což je v přepočtu 10,3 kWh. **Celý výnos ze semen řepky (tedy oleje i šrotu) tak odpovídá energii zhruba 20 MWh primární energie na hektar** (vztah 3.4). Jiné zdroje uvádějí spíše 15 MWh, ale ty na rozdíl od nás pravděpodobně neuvažují využití řepkového šrotu. Jak je vidět, řepka má výrazně nižší energetický výnos než mají jiné energetické plodiny. To je částečně způsobeno tím, že vypěstovanou biomasu řepky do výnosů nezapočítáváme (zaorává se) a také tím, že je na polích pouze jedenáct měsíců. Je třeba podotknout, že zaorání biomasy řepky (slámy a kořenové hmoty) je extrémně důležité pro dlouhodobé zdraví půdy, je ovšem diskutabilní, zda-li je z hlediska obnovitelnosti dostatečné. [11, 27, 30, 31, 40, 41, 55, 56, 62]

(3.4)

$$E_{pb} = [(H_{\check{r}o} / 3\,600) \times (R_{\check{r}o}) + (H_{\check{r}s} / 3\,600) \times (1 - R_{\check{r}o})] \times Y$$

$$E_{pb} = [(37 / 3\,600) \times (0,4) + (15 / 3\,600) \times (1 - 0,4)] \times 3\,000 = \mathbf{20\,MWh}$$

kde

$H_{\check{r}o}$	výhřevnost řepkového oleje	[MJ]
$H_{\check{r}s}$	výhřevnost řepkového šrotu	[MJ]
Y	výnos řepkového semene na hektar	[kg]
$R_{\check{r}o}$	zastoupení řepkového oleje v semeni	[%]
$E_{p\check{r}s}$	primární energie obsažená v semeni řepky na hektar	[MWh]

Jeden hektar nové *fotovoltaické elektrárny* obecně odpovídá instalovanému výkonu nejméně 1 MW. To v našich podmínkách odpovídá **roční produkci fotovoltaiky minimálně 1 000 MWh elektrické energie**. [35, 36, 37, 65]

Pro kontrolu můžeme naše výsledky porovnat s teoretickým výnosem na základě fotosyntézy respektive fotoelektrického jevu. V našich podmínkách dopadá na povrch země zhruba 1 000 kWh na metr čtvereční ročně. To při 1% účinnosti fotosyntézy a plném využití pozemku dává hraniční hodnotu výnosu 100 MWh pro biomasu na hektar. V případě fotovoltaiky získáváme hodnotu 2 000 MWh na hektar. Z realistických důvodů se ovšem bude jednat o zhruba poloviční hodnoty. V případě polí s biomasou vždy existují nějaké posklizňové zbytky (kořeny, strniště...) a potřebujeme mít také přístupové cesty pro těžkou techniku. Vzhledem k tomu, že nejsme v rovníkové oblasti, není v případě fotovoltaiky ekonomicky efektivní panely horizontálně pokládat. Panely se tedy obvykle instalují nakloněné v úhlu 30 až 50 stupňů. V takovém případě ale nemůžeme mít panely těsně za sebou, protože by si během pohybu slunce po obloze a svému sklonu stínily. Dále je také potřeba určitý manipulační prostor na jejich případnou obsluhu. Potom se dostáváme k číslům 50 MWh pro biomasu a 1 000 MWh pro fotovoltaiku, což také přibližně odpovídá uvedenému měření a pozorování. [39]

Roční energetický náklad

U biomasy se jedná především o energetický náklad na dopravu a případné zpracování. Ten se téměř vždy pohybuje v řádu několika desítek procent. Dále je třeba brát v úvahu také chemické ošetřování plodin na poli, případně energetické náklady na zpracování semen na biopalivo. [23]

U produkce bionafty z řepky (MEŘO), je poměr získané a vložené energie 1,4. U některých dalších kapalných biopaliv, například etanolu z kukuřice, mohou být energetické vstupy dokonce vyšší, než je zisk z biopaliva. [23]

Je-li energetický poměr 1,4, potom nákladová složka při produkci bionafty z řepkového oleje je 71,5 %. Zpracovatelé řepky ovšem tvrdí, že energetický náklad je pouze 33 %. Já se ovšem domnívám a předpokládám, že první hodnota je zvolena bez započtení energetického zisku z řepkového šrotu, zatímco druhá hodnota jej uvažuje, ale zase

pravděpodobně neuvažuje následné zpracování. Pojdme tedy tuto hodnotu odvodit aspoň zhruba sami. Energetický náklad se skládá z těchto položek: [39]

1. Pěstování řepky (energetickým nákladem je především palivo těžké techniky při orbě, setí, aplikaci chemikálií a sklizni).
2. Dovoz řepkových semen do zpracovatelských závodů.
3. Zpracování řepky na olej a na methylester.
4. Distribuce methylesteru producentům nafty a distribuce řepkového šrotu na další využití.

U první nákladové položky víme, že pěstitel spotřebuje 0,3 tuny nafty na jeden hektar řepky. Výnos na hektar odpovídá energetickému ekvivalentu dvou tun oleje, tedy energetický náklad na pěstování bude zhruba 15 %. Abychom zahrnuli aspoň částečně energetický náklad výroby a distribuce zemědělské chemie a energetický náklad těžké zemědělské techniky formou amortizace, připočteme dalších 7,5 %.

U druhé položky víme, že náklad na dopravu biomasy se téměř vždy pohybuje v řádu desítek procent. Řepková semena jsou ovšem významně energeticky hustější než běžná biomasa, na druhou stranu zpracovatelských závodů je v ČR jen velmi málo a proto bude pravděpodobně cestovat nezanedbatelnou vzdálenost – tedy řekněme dalších 5 %.

Pro zpracování řepky se využívá velkých mechanických lisů, olej je třeba následně separovat od pokrutin a vyrobit z něj methylester. Proces extrakce oleje a výroby methylesteru zahrnuje další chemikálie, které bylo třeba vyrobit a dovézt. Výsledný methylester je následně nezbytné cisternami dovést do centrálního skladu Čepro, kde se smíchává s naftou. Směs následně putuje produktovodem do jednoho ze sedmnácti skladů pohonných hmot Čepro, kde je směs připravená na odběr distributora pohonných hmot. Ten tuto směs opět naloží do cisterny a rozveze do příslušné čerpací stanice. Energeticky výrazně chudší řepkový šrot se běžně odváží stovky kilometrů do Německa dalším zpracovateli, kteří ho dále přepracovávají na krmivo a distribují na průmyslové živočišné farmy. Třetí a čtvrtá položka představuje odhadem další energetický náklad 12,5 %. [23, 54, 70]

Pokud tyto energetické nákladové položky pro jednoduchost sečteme, dostáváme celkovou odhadovanou nákladovou složku řepky 40 %. V takovém případě získáváme **roční energetický náklad řepky 8 MWh na hektar**.

V případě *fotovoltaiky* je nákladem zejména energie, která byla vložena do výroby samotného fotovoltaického panelu. Vycházejme z údajů, že fotovoltaická elektrárna má životnost 25 až 30 let a produkce elektrárny se každoročně snižuje o zhruba 0,75 % ročně. Energetická návratnost panelu vyrobeného z primárních surovin je v našich podmínkách 2,7 let a z recyklovaných materiálů 1,5 let. Potom tedy můžeme vyjádřit, že panel za svoji existenci vyrobí zhruba 10krát více energie, než stála jeho výroba, a tedy roční energetický náklad fotovoltaického panelu (formou „energetické amortizace“) bude desetina jeho roční produkce (vztah 3.5). Fotovoltaická elektrárna se samozřejmě skládá i z dalších komponent. Jejich energetický náklad je ovšem v poměru k výrobě panelů zanedbatelný (měniče, kabely) nebo snadno a efektivně znovupoužitelný nebo recyklovatelný (konstrukce). Potom tedy **roční energetický náklad fotovoltaiky je 100 MWh na hektar**. [28]

(3.5)

$$EC_{fr} = EROI_f / LE_f$$

$$EC_{fa} = ER_a \times EC_{fr}$$

$$EC_{fa} = 1000 \times (2,5 / 25) = \mathbf{100 \text{ MWh na hektar}}$$

kde

LE_f	životnost panelu	[roky]
$EROI_f$	energetická návratnost panelu	[roky]
EC_{fr}	relativní energetický náklad fotovoltaiky	[%]
ER_{fa}	energetický výnos fotovoltaiky na hektar	[MWh]
EC_{fa}	energetický náklad fotovoltaiky na hektar	[MWh]

Alternativně můžeme využít informace, že energetický náklad na jeden panel se v průměru uvádí na 750 kWh. Dále víme, že panel za rok vyprodukuje přibližně 300 kWh energie. Z toho si můžeme snadno odvodit a potvrdit energetickou návratnost panelu 2,5 let (z primárních surovin, z recyklovaných podstatně méně) (vztah 3.6). [65]

(3.6)

$$EROI_f = EC_f / EP_{fyp}$$

$$EROI_f = 750 / 300 = 2,5 \text{ let}$$

kde

EC_f	Energetický náklad na panel	[kWh]
EP_{fyp}	Roční produkce fotovoltaického panelu	[kWh]
$EROI_f$	Energetická návratnost panelu	[roky]

Proč do energetických nákladů fotovoltaiky nezapočítávám dopravu panelů? Protože je zanedbatelná. Jeden kg hmoty fotovoltaiky za svou životnost odpovídá produkci přibližně 400 kWh elektrické energie, zatímco jeden kg semen řepky odpovídá produkci přibližně 8 kWh primární energie. Fotovoltaika se sice v průměru přepravuje delší vzdálenosti, ale zato extrémně efektivně na velkých nákladních lodích.

Roční energetický zisk

Je-li roční energetický výnos řepky 20 MWh a náklad 8 MWh, potom **roční energetický zisk řepky je 12 MWh na hektar**.

Je-li roční energetický výnos fotovoltaiky 1 000 MWh a náklad 100 MW, potom **roční energetický zisk fotovoltaiky je 900 MWh na hektar**.

Roční užitiný energetický zisk

Vzhledem k tomu, že řepkový olej se používá pro výrobu biopaliv, která se následně používají na transformaci do mechanické energie v dopravě, je porovnání zisků řepky i fotovoltaiky třeba vztáhnout na výslednou mechanickou energii.

Řepkový olej (ve formě methylesteru) se na mechanickou energii přeměňuje ve spalovacím (vznětovém) motoru. Ten má účinnost kolem 35 %. Energetické náklady na distribuci esteru řepkového oleje do čerpacích stanic zanedbáváme. **Potom získáváme čistý roční užitiný energetický zisk z řepky zhruba 4,2 MWh na hektar** (vztah 3.7). [65]

(3.7)

$$ERP_r = EP_r \times N_{ce}$$

$$ERP_r = 12 \times 0,35 = \mathbf{4,2 \text{ MWh na hektar}}$$

kde

EP_r	energetický zisk řepky na hektar	[MWh]
N_{ce}	účinnost spalovacího motoru	[%]
ERP_r	úžitný energetický zisk řepky na hektar	[MWh]

Elektrickou energii z fotovoltaiky použijme na pohon elektromotoru. Počítejme s jeho využitím v elektromobilu, protože tím získáme analogii běžného využití MEŘO. V takovém

případě počítejme s kombinovanou účinností 92 % (5 % ztráta při nabíjení akumulátoru a 3 % ztráta na elektromotoru). Energetické náklady na distribuci elektrické energie zanedbáváme. **Čistý užitečný zisk fotovoltaiky tedy je 810 MWh na hektar** (vztah 3.8).

(3.8)

$$ERP_f = EP_f \times N_{ee}$$

$$ERP_f = 900 \times 0,92 = \mathbf{828 \text{ MWh na hektar}}$$

kde

EP_f	Energetický zisk fotovoltaiky na hektar	[MWh]
N_{ee}	Kombinovaná účinnost nabíjení akumulátoru a elektromotoru	[%]
ERP_f	Užitečný energetický zisk fotovoltaiky na hektar	[MWh]

Porovnání

Fotovoltaika je v přepočtu na mechanickou energii přibližně 200krát energeticky účinnější na jednotku plochy než řepka olejná.

Za zmínku stojí, že pokud bychom nezapočítávali do energetického výnosu řepky také řepkový šrot, fotovoltaika by byla zhruba tisíckrát energeticky účinnější na jednotku plochy než řepka olejná.

Poznámka: V jednotlivých zdrojích se poměr účinnosti fotovoltaiky a řepky na plochu různí a pohybuje se od 200krát do 600krát. Nikde z uvedených zdrojů ovšem nebyl proveden tak podrobný výpočet jako v této práci a nikde se podle mého názoru příliš nepočítalo s energií z řepkového šrotu. [30, 32, 37]

Jak je možné, že reálná energetická účinnost řepky je v poměru k fotovoltaice ještě o tolik horší než dříve vypočítaný teoretický poměr ($R_{fjvsfs} = 55,4$)? Existují pro to dva dobré důvody. Prvním je fakt, že řepková biomasa (sláma a kořenová hmota) se energeticky nevyužívá, ale zaorává se. Druhým důvodem jsou poměrně vyšší energetické náklady řepky vzhledem k energetickým výnosům, což se odráží i na sníženém energetickém zisku.

3.1.3. Akumulovatelnost

Zásadní výhodou jakékoliv biomasy v porovnání s fotovoltaikou je možnost jejího přímého skladovatelnosti. Lze ji uložit a použít na produkci energie bez závislosti na denní nebo roční dobu nebo vliv počasí. Výjimku tvoří pouze bioplynové stanice, které díky fyzikálním

principům daného provozu a omezenému plynovému zásobníku jsou nuceny fungovat spíše jako zdroj v základním zatížení (tedy podobně jako jaderná elektrárna).

Fotovoltaické panely samy o sobě žádnou schopnost akumulace nemají. Při jejich širším nasazení navíc trpí nevhodnou konvergencí – počasí je většinou podobné nad celým územím příslušné přenosové soustavy EE, potom tedy při jasné obloze produkují energii všechny fotovoltaické elektrárny najednou, což způsobuje v elektrické síti velké přebytky (což následně výrazně snižuje její výkupní cenu pro provozovatele FVE, ale také provozovatele jiných zdrojů). Fotovoltaické systémy nebo distribuční a přenosovou soustavu EE je samozřejmě možné doplnit o systémy akumulace (elektrochemické baterie, ukládání energie ve formě potenciální energie vody nebo pevné hmoty apod.). Externí akumulační systémy ovšem zvyšují celkové náklady. [22]

Akumulovatelnost má zásadní vliv na cenu elektrické energie na denním, vnitrodenním a vyrovnávacím trhu OTE. **Lze říci, že kWh elektrické energie z biomasy (pevné biomasy a biopaliva) je v průměru výrazně cennější než kWh z fotovoltaiky (pravděpodobně o několik desítek procent), protože je možné ji uvolnit ve vhodnější moment.**

Silou působící na zvyšování tohoto rozdílu je výrazný politický a časem také ekonomický tlak na konstrukce nových FVE. Naopak velkou silou působící proti zvyšování tohoto rozdílu je výrazný rozvoj systémů akumulace a chytrých sítí. Chytré sítě propojené se spotovými trhy s EE umožní rychlejší rozvoj dynamického párování nabídky a poptávky po EE (tzv. supply demand response) a také činí pro podnikatelské subjekty arbitráž s EE výrazně atraktivnější. Výsledný efekt bude například ten, že lednička se sepne právě v moment, kdy mrak odkryje slunce a do přenosové soustavy začnou téct obrovské výkony z FVE. Není tedy zcela jasné, zda-li se tento cenový rozdíl bude v budoucnu zvětšovat nebo zmenšovat.

3.2. Obnovitelnost a udržitelnost

Při posuzování obnovitelnosti budeme sledovat dva hlavní ukazatele. Prvním bude *materiálová obnovitelnost*, kdy budeme sledovat toky chemických elementů pro danou technologii v čase a jejich ztráty. Druhým ukazatelem bude nepřímý dopad technologie na kvalitu a zdraví půdy. To budeme pro účely této práce zjednodušeně reprezentovat *bilancí organické hmoty v půdě a erozním působením*.

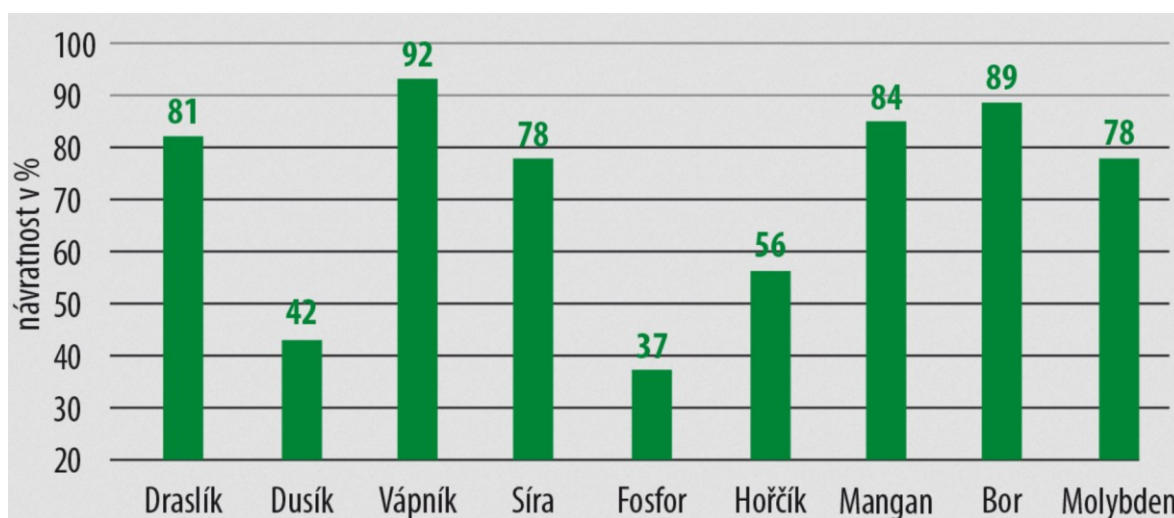
3.2.1. Materiálová obnovitelnost

Jakákoliv rostlina, tedy i *energetická biomasa*, potřebuje ke svému životu a růstu různé živiny (minerály). Uhlík, kyslík a vodík dokáže rostlina získat z atmosféry pomocí fotosyntézy. Zbytek živin získává z půdy pomocí kořenů, tedy zejména:

- dusík (výjimkou jsou luštěniny, které dokáží získávat dusík v plynné podobě přímo z atmosféry pomocí symbiotických půdních bakterií),
- fosfor,
- draslík,
- vápník,
- hořčík,
- síra.

Všechny tyto látky se do půdy opět přirozeně vrátí po odumření rostliny. Pokud ovšem jako pěstitele většinu narostlé hmoty sklídíme a odvezeme, je tento koloběh narušen. V půdě ubývají dostupné živiny, mění se jejich vzájemné poměry, často klesá pH a to vše se projevuje poklesem úrodnosti půdy a snižováním výnosů. [23]

Řepka je rostlina velmi náročná na živiny. **Požadavky na živiny jsou u řepky dva až třikrát větší než u obilovin.** Na 1 t semene a odpovídající množství slámy odčerpá v průměru 50 kg dusíku, 10,9 kg fosforu, 50 kg draslíku, 45 kg vápníku a 4,8 kg hořčíku. Poměrně značné nároky má i na síru (18 až 22 kg) a z mikrobiogenních prvků na bor (0,3 kg) a zinek (0,6 kg). Z hlediska této kapitoly ovšem není cílem diskutovat absolutní množství živin, ale spíše jejich koloběh a ztráty. [116]



Obrázek 3-2. Posklizňová návratnost živin z řepky olejné do půdy. [48]

Pokud se biomasa řepky (sláma a kořenová hmota) po svém produkčním období zaorá, většina živin se opět vrátí do půdy (obr. 3-3). Nemalá část živin v podobě semen ovšem půdu opustí. Pokud živiny externě nedoplníme, bude mít půda každoročně klesající výnosy. Při jakémkoliv cíleném pěstování energetických plodin dochází postupně k výrazným ztrátám živin v půdě, které se doplňují zejména intenzivním hnojením. Částečně lze alespoň teoreticky některé minerální živiny vrátit do půdy ve formě popela, resp. digestátu z bioplynové stanice, to se ovšem z praktických důvodů téměř nikdy neděje (je obtížné identifikovat správné místo původu a neexistuje krátkodobá ekonomická návratnost tohoto úkonu). Dusík je možné přirozeně doplnit použitím meziplodiny luštěninového typu, například jetele, a jeho následným zaoráním. To ovšem znamená z ekonomického hlediska náklad a neprodukční období. [122]

Živiny lze na rozdíl od půdní organické hmoty vyrobit synteticky a také se tak ve velkém děje. To ovšem zvyšuje energetickou náročnost a také uhlíkovou stopu rostlinné produkce. Dále to zvyšuje problém s přetokem těchto syntetických živin do jiných systémů, kde působí eutrofizaci, protože současná půda nemá dostatek organické hmoty k jejich absorbování.

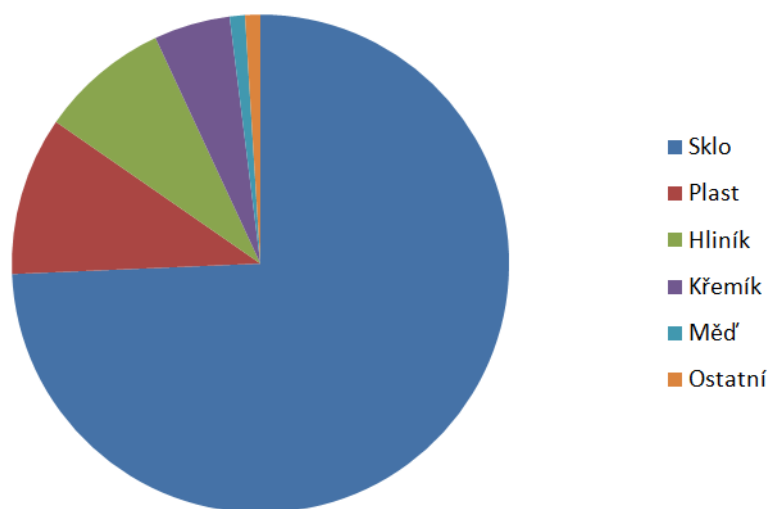
Řepka je materiálově neobnovitelná. Každý rok se jejím pěstováním část výše uvedených minerálů vyčerpá a doplňuje se každoročně synteticky (zejména dusík a fosfor). Tyto živiny se ovšem někde jinde v ekosystému hromadí, což má poměrně výrazné vedlejší negativní dopady.

Fotovoltaika během svého provozu žádný materiál nespotřebovává. Při výrobě panelů, konstrukcí, kabeláže i měniče se ovšem spotřebovává jeho nezanedbatelné množství. Hliníkové konstrukce a kabeláž jsou plně recyklovatelné a jejich recyklace je velmi dobře zvládnutá a je ekonomická, měniče jsou zanedbatelné. Rozhodující ovšem je, jak si materiálově stojí samotné fotovoltaické panely a jak efektivní je jejich recyklace. [28]

Recyklace fotovoltaického panelu

Typický krystalický křemíkový panel váží necelých 20 kg a skládá se z 60 až 72 článků, čelního skla, rámu, izolačních vrstev a vodičů. Hmotnostní složení typického panelu je (obr. 3-4): [28]

- 75 % sklo (ochrana článků proti vnějším vlivům jako kroupám atd.),
- 10 % plasty, obvykle tedlar a zejména EVA – polymer Ethylen Vinyl Acetátu (slouží jako izolace, pojivo a ochranná vrstva),
- 8 % hliník (rám panelu),
- 5 % křemík (fotovoltaické články),
- 1 % měď (vodiče), při započtení externích vodičů vedoucích z panelu se jedná o zhruba 700 g,
- 0,1 % stříbro (kontakty), obvykle 20 g,
- Desetiny promile cín a olovo ve formě materiálu pájky, obvykle 3 g cínu a 4 g olova,
- Ostatní materiály (konektory, silikonová těsnění) jsou zanedbatelné.



Obrázek 3-3. Materiálové složení krystalického křemíkového panelu. [28]

Mezi největší mýty kolem fotovoltaických panelů patří představa, že jsou nebezpečným odpadem. Drtivá většina těchto panelů jsou netoxická zařízení a svým složením se příliš neliší od běžného domácího elektroodpadu typu LCD televize (i v nich je jediným problematickým materiálem olovo v pájených spojích). Tento mýtus mají na svědomí pravděpodobně tenkovrstvé panely americké firmy First Solar, které v sobě obsahují zejména velmi toxické kadmium. Těch je ovšem celosvětově pouze několik jednotek procent ze všech instalovaných panelů, používají se výhradně ve velkých fotovoltaických elektrárnách mimo rezidenční oblasti, samotná firma obstarává jejich recyklaci (která je mimochodem velmi účinná) a v ČR se téměř vůbec nevyskytují. [2, 28]

Recyklace jednotlivých komponent krystalického křemíkového panelu je poměrně efektivní a účinná jak z energetického, tak materiálového hlediska (tab. 3-1). Jediné komponenty, které se nerecyklují, ale využívají energeticky, jsou v panelu obsažené plasty [28]. Ekonomická bilance recyklace je zatím spíše neutrální (náklady na recyklaci jsou zhruba pokryty prodejem materiálů získaných recyklací) ovšem s pozitivním výhledem do budoucnosti díky potenciálu úspor z rozsahu. [28]

Recyklace fotovoltaických panelů není dokonalá a stále zanechává určité množství dále nezpracovaného materiálu. Je ovšem třeba si uvědomit, že tento drobný odpad vzniká pouze jednou za 25 až 30 let.

Tabulka 3-1. Materiálové výnosy z recyklace fotovoltaického panelu na území ČR. [28]

Materiál	Hmotnost	Účinnost recyklace
Sklo	13,5 až 15 kg	90 až 97 %
Plast	2,1 kg	0 %
Hliník	1,7 kg	100 %
Křemík	0,5 až 1 kg	80 až 85 %
Měď	0,2 (0,75 s kabely) kg	100 %
Stříbro	0,02 kg	65 %
Olovo	0,004 kg	90 %
Cín	0,003 kg	90 %

Porovnání

Materiálový náklad na jednu MWh primární energie ze semen řepky je přibližně 7 kg minerálů (vztahy 3.9), kde zhruba polovina připadá na dusík (3,6 kg dusíku, 0,86 kg fosforu, 1,19 kg draslíku, 0,45 kg vápníku, 0,26 kg hořčíku, 0,55 kg síry a 0,03 kg boru). Všechny tyto minerály jsou řepkou trvale odebrány půdě.

(3.9)

$$ML_N = AML_N \times RML_N / Q_r = 50 \times 0,58 / 8 = 3,6 \text{ kg}$$

$$ML_P = AML_P \times RML_P / Q_r = 10,9 \times 0,63 / 8 = 0,86 \text{ kg}$$

$$ML_K = AML_K \times RML_K / Q_r = 50 \times 0,19 / 8 = 1,19 \text{ kg}$$

$$ML_{Ca} = AML_{Ca} \times RML_{Ca} / Q_r = 45 \times 0,08 / 8 = 0,45 \text{ kg}$$

$$ML_{Mg} = AML_{Mg} \times RML_{Mg} / Q_r = 4,8 \times 0,44 / 8 = 0,26 \text{ kg}$$

$$ML_S = AML_S \times RML_S / Q_r = 20 \times 0,22 / 8 = 0,55 \text{ kg}$$

$$ML_B = AML_B \times RML_B / Q_r = 0,3 \times 0,11 / 8 = 0,033 \text{ kg}$$

kde

AML _N	absolutní odtok dusíku na tunu semene	[kg]
RML _N	relativní odtok dusíku	[%]
ML _N	ztráta dusíku na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _P	absolutní odtok fosforu na tunu semene	[kg]
RML _P	relativní odtok fosforu	[%]
ML _P	ztráta fosforu na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _K	absolutní odtok draslíku na tunu semene	[kg]
RML _K	relativní odtok draslíku	[%]
ML _K	ztráta draslíku na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _{Ca}	absolutní odtok vápníku na tunu semene	[kg]
RML _{Ca}	relativní odtok vápníku	[%]
ML _{Ca}	ztráta vápníku na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _{Mg}	absolutní odtok hořčíku na tunu semene	[kg]
RML _{Mg}	relativní odtok hořčíku	[%]
ML _{Mg}	ztráta hořčíku na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _S	absolutní odtok síry na tunu semene	[kg]
RML _S	relativní odtok síry	[%]
ML _S	ztráta síry na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
AML _B	absolutní odtok boru na tunu semene	[kg]
RML _B	relativní odtok boru	[%]
ML _B	ztráta boru na MWh primární energie řepkového semene	[kg]
Q _r	výhřevnost tuny semene (zhruba 8 MWh) [129]	[MWh]

Materiálový náklad na jednu MWh elektrické energie z fotovoltaiky je zhruba 0,4 kg materiálu (vztahy 3.10). Tento materiálový náklad odpovídá ze dvou třetin plastům a z jedné třetiny sklu, ostatní materiály jsou zcela zanedbatelné.

(3.10)

$$QE_f = EP_{fyp} \times LE_f = 300 \times 25 = 7,5 \text{ MWh}$$

$$ML_g = AML_g \times RML_g / QE_f = 14,25 \times 0,065 / 7,5 = 0,13 \text{ kg}$$

$$ML_p = AML_p \times RML_p / QE_f = 2,1 \times 1 / 7,5 = 0,28 \text{ kg}$$

$$ML_{Si} = AML_{Si} \times RML_{Si} / QE_f = 0,75 \times 0,175 / 7,5 = 17,5 \text{ g}$$

$$ML_{Ag} = AML_{Ag} \times RML_{Ag} / QE_f = 0,02 \times 0,35 / 7,5 = 0,9 \text{ g}$$

$$ML_{Pb} = AML_{Pb} \times RML_{Pb} / QE_f = 0,004 \times 0,1 / 7,5 = 0,05 \text{ g}$$

$$ML_{Sn} = AML_{Sn} \times RML_{Sn} / QE_f = 0,003 \times 0,1 / 7,5 = 0,04 \text{ g}$$

kde

AML _g	hmotnost skla v panelu	[kg]
RML _g	materiálový odtok skla po recyklačním procesu	[%]
ML _g	ztráta skla na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
AML _p	hmotnost plastů v panelu	[kg]
RML _p	materiálový odtok plastů po energetickém zpracování	[%]
ML _p	ztráta plastů na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
AML _{Si}	hmotnost křemíku v panelu	[kg]
RML _{Si}	materiálový odtok křemíku po recyklačním procesu	[%]
ML _{Si}	ztráta křemíku na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
AML _{Ag}	hmotnost stříbra v panelu	[kg]
RML _{Ag}	materiálový odtok stříbra po recyklačním procesu	[%]
ML _{Ag}	ztráta stříbra na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
AML _{Pb}	hmotnost olova v panelu	[kg]
RML _{Pb}	materiálový odtok olova po recyklačním procesu	[%]
ML _{Pb}	ztráta olova na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
AML _{Sn}	hmotnost cínu v panelu	[kg]
RML _{Sn}	materiálový odtok cínu po recyklačním procesu	[%]
ML _{Sn}	ztráta cínu na MWh elektrické energie produkované panelem	[kg]
LE _f	životnost panelu	[roky]
EP _{fyp}	roční produkce fotovoltaického panelu	[kWh]
QE _f	celková produkce elektrické energie panelu	[MWh]

Pokud bychom neuvažovali primární energii řepky, ale lépe vypovídající užitnou (mechanickou) energii, byla by **fotovoltaika zhruba 50násobně materiálově úspornější na produkovanou energii než řepka**.

3.2.2. Bilance organické hmoty v půdě

„V půdě žije a doslova pro nás pracuje neviditelný tým fascinujících organismů, jejichž schopnosti v mnoha směrech předčí naši nejbujnější fantazii. Většina z nich zůstává našemu zraku skryta zejména pro své nepatrné rozměry.“ [95]

Pevná fáze půdy se skládá z minerální složky, ale také z extrémně důležité organické složky (té je 1 až 6 %). Tato organická složka půdy je převážně složena z půdní organické hmoty (převážně tzv. trvalý humus) a edafonu (půdní organismy a mikroorganismy). Jak *humus* tak *edafon* jsou neobyčejně důležité komponenty zdravé a úrodné půdy. [117, 124]

Edafon

Zdravá půda obsahuje celá společenstva organismů, mikroorganismů a hub, která dokáží velmi efektivně rozložit odumřelou organickou hmotu na živiny a humus (velmi jednoduše řečeno). Tato společenstva se nazývají souhrnně edafon a účastní se všech půdních procesů – zúčastňuje se přeměny organických látek, napomáhá při přeměně minerálních látek a podílí se na biologickém samočištění půdy. Výsledkem jeho tvorby je mimo jiné humus. Edafon má výrazný vliv na úrodnost i kvalitu půdy, ale může být zásahem člověka velmi negativně ovlivněn. Nejzávažnější dopad na edafon má aplikace pesticidů, ale také používání těžké zemědělské techniky a nepřiměřené používání průmyslových hnojiv. Půda s omezeným edafonem je půda bez života, na které se nerozkládá ani listí. [124]

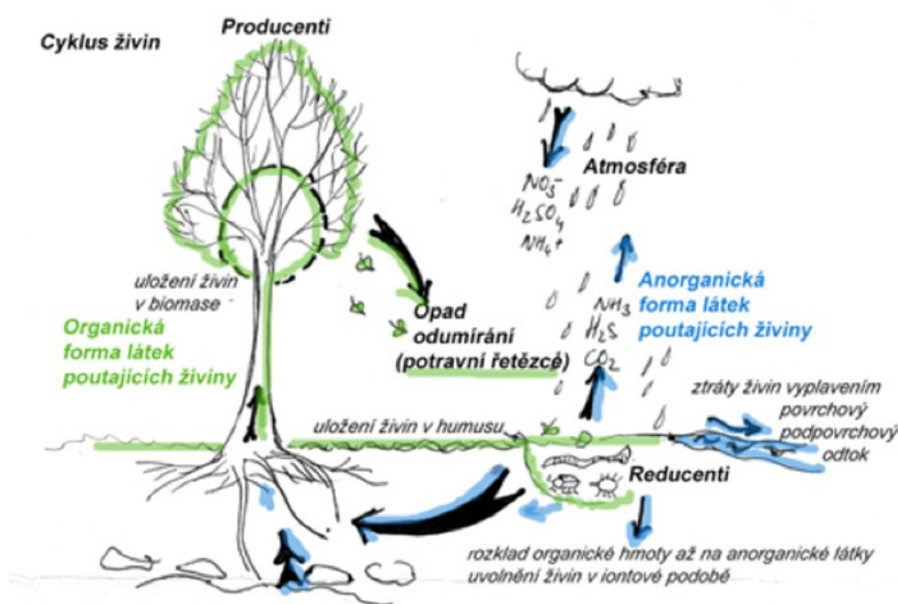
Půdní organická hmota

Tato hmota se skládá ze zatím nerozložených organických zbytků (nehumifikované organické látky, tzv. živný humus) a zejména z humusu trvalého (humifikované organické látky), což je dlouhodobě stabilizovaná půdní organická hmota. Pro účely této práce budeme zjednodušeně uvažovat, že půdní organická hmota a humus jsou zaměnitelné pojmy. Úroveň humusu v půdě je výrazným ukazatelem její kvality a zdraví. Při kontinuálním snižování této úrovně se nejedná o udržitelné hospodaření. [117, 124]

Tento humus je tvořen naakumulovanou pórovitou hmotou díky tisíciletí nepřetržité práce edafon. Za nejvýznamnější přínosy humusu pro život člověka kromě produkční schopnosti lze považovat:

1. Udrží vodu v krajině. Půda s malým podílem organické hmoty má velmi nízkou absorpční schopnost tekutin. Vodní kapacita půd je 10x vyšší než je objem všech povrchových zdrojů vody, nicméně z důvodu vysokého stupně degradace půd je tato kapacita pouze na 60 % svého potenciálu. [119]
2. Je odolnější proti vodní erozi. Půda s větším podílem humusu vodu totiž absorbuje a zbytní místo toho, aby byla odplavena.
3. Představuje prostor pro dlouhodobou akumulaci živin pro rostliny. Organicky chudou půdou syntetické živiny spíše jen protečou než aby se v ní akumulovaly. Co rostlina nestihne absorbovat ihned, je záhy odplaveno do povrchových vod, kde se tyto živiny podílí na nežádoucí eutrofizaci. Důsledkem je nezbytnost každoročního několikanásobného hnojení a tedy větší ekonomické náklady i „přetoky“ postřiků mimo pole. [20]

Všechny tyto důvody by nebyly až tak palčivé v případě, že bychom pěstovali rostliny ve skleníku a vše by probíhalo v uzavřeném ekosystému. V takovém případě bychom si vystačili se substrátem. V případě otevřeného pole je ovšem situace významně jiná.



Obrázek 3-4. Zjednodušený koloběh živin a organické hmoty v přírodě. [23]

Na tvorbě humusu se synergicky podílí mimo žíval i stovky druhů hmyzu, bakterií a hub. Je to proces, který je neobyčejně komplexní a neumíme jej technologicky žádným způsobem napodobit (obr. 3-5). Půda obecně funguje ve dvou režimech: [20, 21]

1. **Akumulační režim** – v tomto režimu se množství organické hmoty v půdě dlouhodobě velmi pomalu zvyšuje. Je to proces, který trvá tisíce let a vyžaduje, aby velká část energie vyprodukovaná rostoucí biomasou také zůstala na daném místě (opadané plody, spadané listí, zetlelé rostliny a dřevo).
2. **Exploitační režim** – organické hmoty v půdě ubývá a může ubývat dokonce velmi rychle. Tento stav je velmi často způsoben tím, že je všechna energeticky hodnotná nadzemní produkce biomasy při sklizni půdě odebrána.

V případě exploitačního režimu zbývá velmi málo energie pro strádající půdní organismy. Některé z nich zahynou a jiným se naopak aktivují geny, pomocí kterých začnou rozkládat akumulovanou organickou hmotu ve formě trvalého humusu. Humus je ve své podstatě zakonzervovaná obtížně dostupná energie v půdě, nicméně pokud mikroorganismy nemají jinou možnost, využijí i ji. Takto tedy půda svým způsobem „požírá sama sebe“. **Tímto procesem se uhlík v organické hmotě uložený přeměňuje na formu skleníkového CO₂ podobně jako při spalování fosilního uhlí.**

Čím méně je v půdě organické hmoty, tím méně je půda odolná vůči erozi, to způsobuje, že nejenže je půda méně kvalitní, ale také může začít ubývat. Před padesáti až sedmdesáti lety měly černozemě v průměru 3,2 % humusu a bývaly vizuálně opravdu černé, nivní půdy v průměru 4,1 %, dnes ovšem mají spíše kolem 2 %. [20, 21, 124]

Při pěstování *energetické biomasy* a biopaliv je cílem co největší sklizeň, což je pro udržitelnost kvalitní a zdravé půdy velký problém, protože tím poměrně zaručeně dojde k aktivaci *exploitačního režimu* půdy. Z tohoto hlediska se jeví samotná myšlenka biopaliv a dokonce i energetické biomasy jako velmi nešťastná. Půda jako taková je totiž rovněž zdrojem fosilní energie. **Při významném pěstování energetické biomasy totiž nejde o obnovitelný zdroj, protože energie je získávána za cenu „těžby“ půdního fondu a neliší se tak příliš od těžby fosilních zdrojů energie.** Abychom mohli produkci biomasy alespoň v této kategorii označit za udržitelnou, je třeba odebrat pouze tolik produkce, abychom neaktivovali *exploitační režim* (podobně jako včelař odebere včelám med, ale nikoliv tolik, aby přes zimu strádaly). Významnou část produkce je tedy nutné a nezbytné na poli nechat. Bohužel žádný důkladný výzkum, který by se zabýval zjištěním této hranice, zatím zřejmě neexistuje. [20, 21]

Přidruženým problémem je, že významný projev následků exploitačního režimu je vidět až po desetiletích. Investice do tvorby kvality půdy je nákladná (biomasa, která je zaoraná, nemůže být prodána) a velmi dlouhodobá záležitost, kde navíc výsledky nejsou vidět na první pohled. V ČR navíc většina subjektů obdělávajících půdu není jejich vlastníkem, ale má ji pouze propůjčenou (přibližně 80 % půdy neobdělává její vlastník, průměr v EU je přitom 50 %), tedy jejich motivace pro dlouhodobou udržitelnost není vysoká. Výsledky výzkumníků z České zemědělské univerzity potvrzují, že když zemědělci hospodaří na vlastní půdě, chovají se k ní mnohem šetrněji a tyto půdy mají prokazatelně více uhlíku (organické hmoty) a půdních enzymů. [110]

Organickou hmotu a živiny je možné vrátit zpět na pole také hnojením statkovými hnojivy – chlévským hnojem, kejdou, močůvkou apod. To se bohužel už příliš neděje ze dvou důvodů:

1. Právě tato hnojiva jsou krmivem pro metanogenní bakterie v dotovaných bioplynových stanicích a je tedy po nich okamžitá a výhodná poptávka. [23]
2. Vzhledem k tomu, že živočišná produkce je v naší zemi na ústupu, je těchto hnojiv obecný nedostatek.

Zajímavostí je, že *řepka* v tomto ohledu vychází při porovnání s jinými energetickými rostlinami velmi dobře, protože se významná část produkce nechává na poli. Je to ale za cenu nižšího energetického výnosu na plochu než je pro energetickou biomasu běžné.

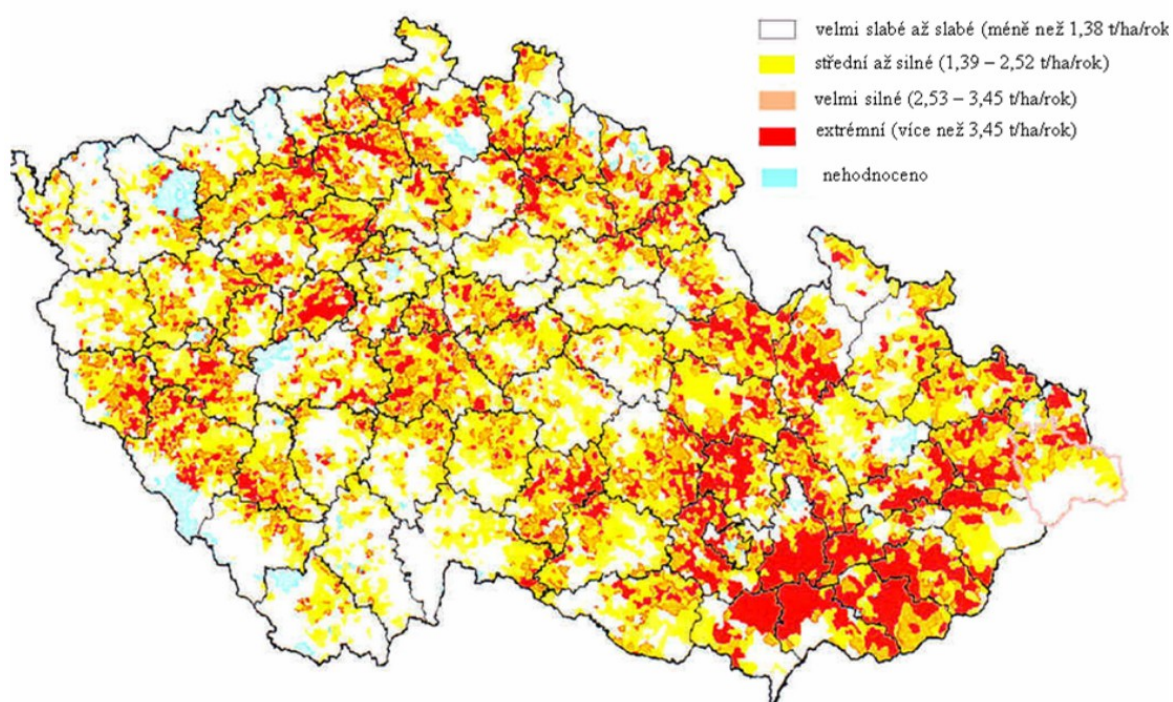
V případě *fotovoltaiky* postavené na orné půdě nebo trvale zatravněném porostu je půda obvykle v akumulacním režimu po celou dobu existence elektrárny. Půdě lze samozřejmě také uškodit jejím zabetonováním, popřípadě používáním herbicidů, nicméně při použití montovatelných hliníkových konstrukcí a sekáním trávy a jejím zanechání na pozemku v podobě mulče se půdě daří velmi dobře. Alternativou může také být spásání trávy hospodářskými zvířaty (třeba ovce), přičemž je organická hmota vrácena půdě v podobě exkrementů.

3.2.3. Eroze půdy

„Půda sama je základním, omezeným a neobnovitelným zdrojem výroby potravin, krmných a ostatních užitkových rostlin, a tím je nedílnou součástí přírodního bohatství každé země. Každá půda je složitým otevřeným systémem, který je tak úzce svázán

s okolním prostředím, že je snadno zničitelným avšak těžce obnovitelným přírodním zdrojem. Každý centimetr ornice se vyvíjí řádově desítky až stovky let, ale tato vrstva může být vlivem eroze (větrné, vodní) zničena během několika minut.“ [124]

Půdní eroze větrem a vodou je do jisté míry přirozený proces, který je na druhé straně vyvažován přirozeným vznikem půdy. Po druhé světové válce se ovšem míra eroze velmi výrazně zvětšila díky antropogennímu působení. Tehdy došlo ke kolektivizaci venkova a ke scelování pozemků a průměrná velikost pozemku se tak zdvacetinasobila za cenu zrušení mezí a remízků apod., což výrazným způsobem zvětšilo erozní potenciál. Dodnes má Česká republika největší zemědělské bloky v Evropě. Dvě třetiny zemědělské půdy v ČR je v současnosti ohroženo vodní erozí a počet zjištěných erozních událostí v ČR dlouhodobě roste (obr. 3-6). Díky stupňující klimatické změně a s tím souvisejícími silnějšími výkyvy počasí včetně prudkých přivalových dešťů a dlouhotrvajícího sucha (suchá půda má menší soudržnost a je tedy erozně zranitelnější) bude pravděpodobně růst i nadále. [83, 85, 86, 87]



Obrázek 3-5. Ohrožení půdy a její potenciální ztráty vodní erozí. [90]

Erozní smyv snižuje tloušťku půdního profilu o nejurodnější svrchní vrstvu, která obsahuje nejvíc živin i organické půdy a příznivé pH. To se odráží na klesajících výnosech polnosti a rychlosti půdního vysychání. S vodou unesenými půdními částicemi se do vodních toků a nádrží dostávají také minerální hnojiva a pesticidy. Eroze přispívá významným způsobem

k eutrofizaci těchto toků, protože erozní sedimenty obsahují značné množství fosforu a dusíku, čímž napomáhají růstu zejména problematických sinic, ale také řas a fytoplanktonu. Erozní události jsou problémem také pro přilehlé obce, pro které záplavy bahna z pole mohou být velmi nepříjemné. [87]

Na vznik vodní eroze má největší vliv sklonivost a délka pozemku po spádnici. Velmi významný vliv má ovšem také vegetační pokryv a vlastnosti půdy. [87]

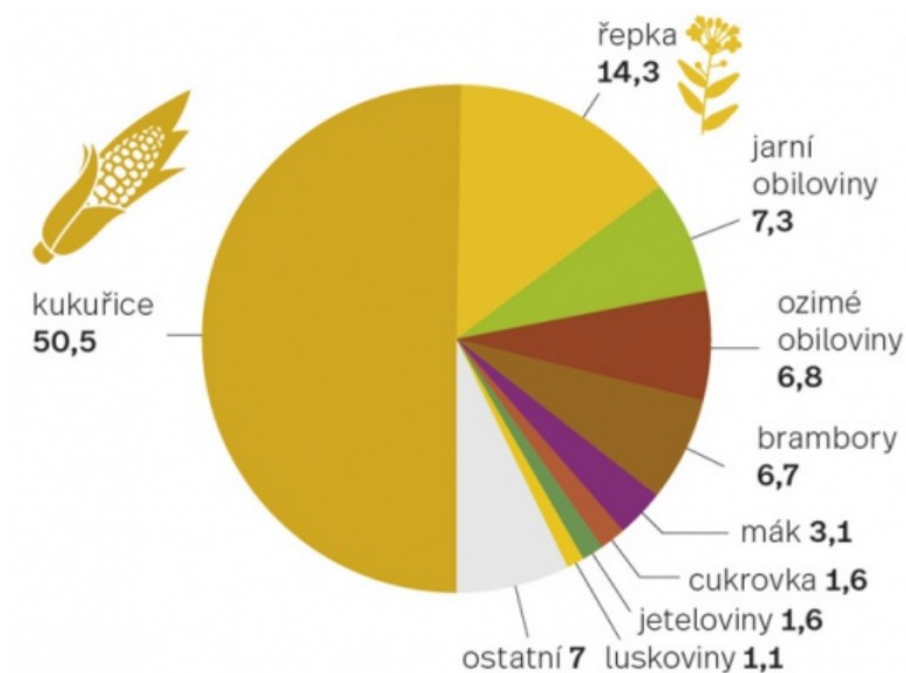
Travní porosty a obiloviny mají velmi dobré protierozní účinky, zatímco širokořádkové plodiny jsou erozně velmi nebezpečné. Mezi ně se řadí zejména kukuřice, cukrová řepa, slunečnice nebo brambory. Obzvlášť problematické je, pokud jsou tyto rostliny pěstovány na svažitém pozemku. [81, 85]

Dále erozní potenciál zásadním způsobem ovlivňuje množství organické hmoty v půdě a zejména na půdě – tzv. mulč, tedy rostlinné zbytky ponechané na poli a zpracované do rovnoměrné vrstvy. Tento mulč pomáhá půdě také proti vysychání. [81]

Erozní potenciál zvyšuje také časté utužování půdy těžkou technikou. Protierozní opatření naopak mohou být setí po vrstevnici, konstrukce teras, budování příkopů nebo hrází na hranicích pole. [81, 87]

Vzrostlá *řepka* má velmi dobré protierozní účinky. Problém je ovšem období mezi sklizní a novým zasetím (zhruba jeden měsíc) a následující měsíc, kdy je řepka ještě velmi malá. V tomto období je pole obnažené a tedy erozně velmi zranitelné. Je to také bohužel doba, kdy se odehrává statisticky nejvíce erozně nebezpečných dešťů. Dalším problémem řepky je velmi vysoká míra intenzifikace jejího pěstování, což znamená mnoho pojezdů těžkou technikou a další utužování půdy. [87]

Druhá nejvýznamnější energetická plodina – kukuřice – je rovněž velmi intenzivně pěstovaná a je navíc erozně velmi zranitelná v průběhu celého vegetačního cyklu. Je u ní evidováno více než polovina všech erozních událostí na zemědělské půdě, přestože zabírá „pouze“ 10,3 % orné půdy (obr. 3-7). [5, 81, 86]



Obrázek 3-6. Pěstovaná plodina na polích zasažených erozí. [86]

Pod *fotovoltaikou* umístěnou na zemědělské půdě (obvykle trvalý travní porost) je neustále přítomna travina s bohatým kořenovým systémem, která je přirozeně velmi erozně odolná. [85]

„Fotovoltaické panely na zemědělské půdě jsou pro půdu paradoxně blahodárné. Pod panely roste tráva. Nikdo pod nimi neorá, nesype žádné minerální hnojivo. Mrtvá biomasa na místě zůstává a zetlí. Za dvacet let to budou nejlukrativnější pozemky, protože pod nimi ještě bude úrodná půda.“ [21]

3.3. Ekologická stopa

V první části této kapitoly se zaměříme především na toxicitu daných technologií pro lokální ekosystém a své okolí. V druhé části se podíváme, do jaké míry přispívají svou uhlíkovou stopou ke klimatické změně.

3.3.1. Toxicita řepky

Řepka pravděpodobně přímo toxická není. Často se u ní zmiňuje, že je toxická pro srny a působí jim zažívací problémy z důvodu přítomnosti problematické kyseliny erukové. Podle některých zdrojů na základě otravy řepkou umírá každou zimu 10 % populace srnčí zvěře. Jiné zdroje ovšem tato tvrzení zásadním způsobem rozporují. [12]

Řepka je ovšem nepochybně toxická nepřímo, protože se pěstuje technikami intenzivního zemědělství.

Intenzivní zemědělství

Jedním z hlavních problémů při pěstování řepky je požadavek neobyčejně velkého rozsahu chemického ošetření. To je dané zejména velkým nárokem na živiny a velkou zranitelností proti různým škůdcům, což se v praxi materializuje využíváním průmyslových hnojiv, insekticidů, herbicidů, fungicidů a dalších přípravků. V pěstitelské příručce se uvádí, že by se mělo provádět dvaadvacet postřiků za rok, reálně se ovšem provádí kolem deseti. Naprosté minimum je každoroční aplikace těchto chemických přípravků: [62]

- 2x hnojení dusíkem,
- 1x listové hnojivo (obvykle fosfor, draslík, bor a dusík),
- 1x fungicid,
- 2x insekticid,
- 1x regulátor dozrávání,
- 1x lepidlo šesulí.

Aplikování těchto chemikálií má za následek celou škálu ekologických, ale i zdravotních problémů.

Průmyslová minerální hnojiva

Řepka se hnojí zejména dusíkem a to minimálně 3x ročně (celkově o 15 až 20 % více než u obilovin). Dále je třeba ji hnojit fosforem a draslíkem. Listovou aplikací dodáváme také bor, mangan a zinek. [10, 56, 62]

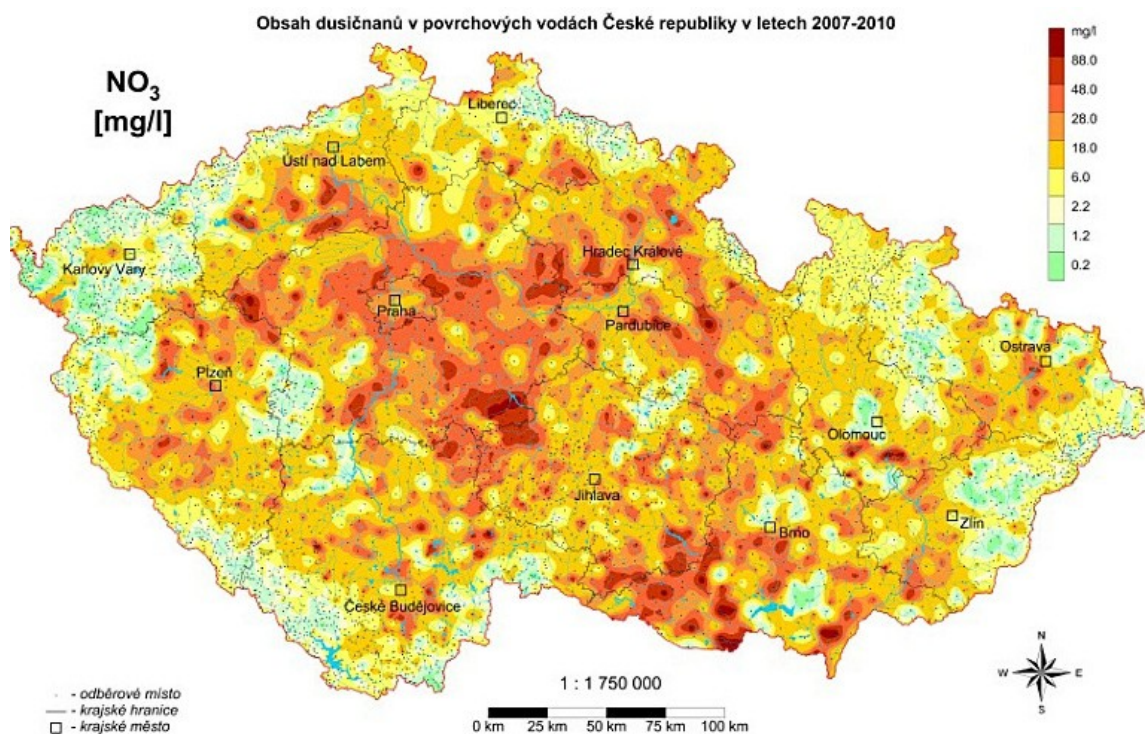
Dnešní půdní fond obsahuje poměrně málo organické hmoty a má tedy poměrně malou akumulační schopnost. Část těchto minerálních hnojiv je sice absorbována rostlinou, část je ovšem odplavena do povrchových a spodních vod, kde dusík a fosfor způsobují antropogenní eutrofizaci. Převažující sucho tento problém ještě zesiluje, protože živiny jsou koncentrovanější. Na území ČR má podle Liebigova zákona minima většina vodních toků limitující faktor fosfor, proto je tento prvek v našich podmínkách z hlediska eutrofizace problematičtější. Dusík sice není hlavní viník eutrofizace, ale je ve zvýšené míře ve vodních tocích také nežádoucí. Jeho vysoká koncentrace napomáhá rozvoji řas a fytoplanktonu. Dusík v amoniakální formě často tvoří pro ryby toxický hydrát amoniaku. Asi třetina syntetického dusíku končí ve světových oceánech, třetina v řekách a v podzemní vodě, kde způsobuje problémy spojené s eutrofizací, část končí po denitrifikačních procesech zpátky v atmosféře a zbytek se akumuluje v biosféře. [26, 81, 120, 136]

Následek eutrofizace je nadměrný rozvoj sinic, ale také fytoplanktonu. Jejich rozvoji nahrává i postupně zvyšující se teplota díky klimatické změně. Sinice **produkují nebezpečné cyanotoxiny**, což výrazným způsobem degraduje kvalitu jak pitné vody, tak vody pro rekreační účely. Další následek je nežádoucí zarůstání vodní plochy, která postupně „zelená“ a zapáchá. Eutrofizace výrazně poškozuje rovnovážný stav vodních ekosystémů, podílí se na snižování biodiversity a je nebezpečná pro zdraví ryb, zvířat i lidí. [81]

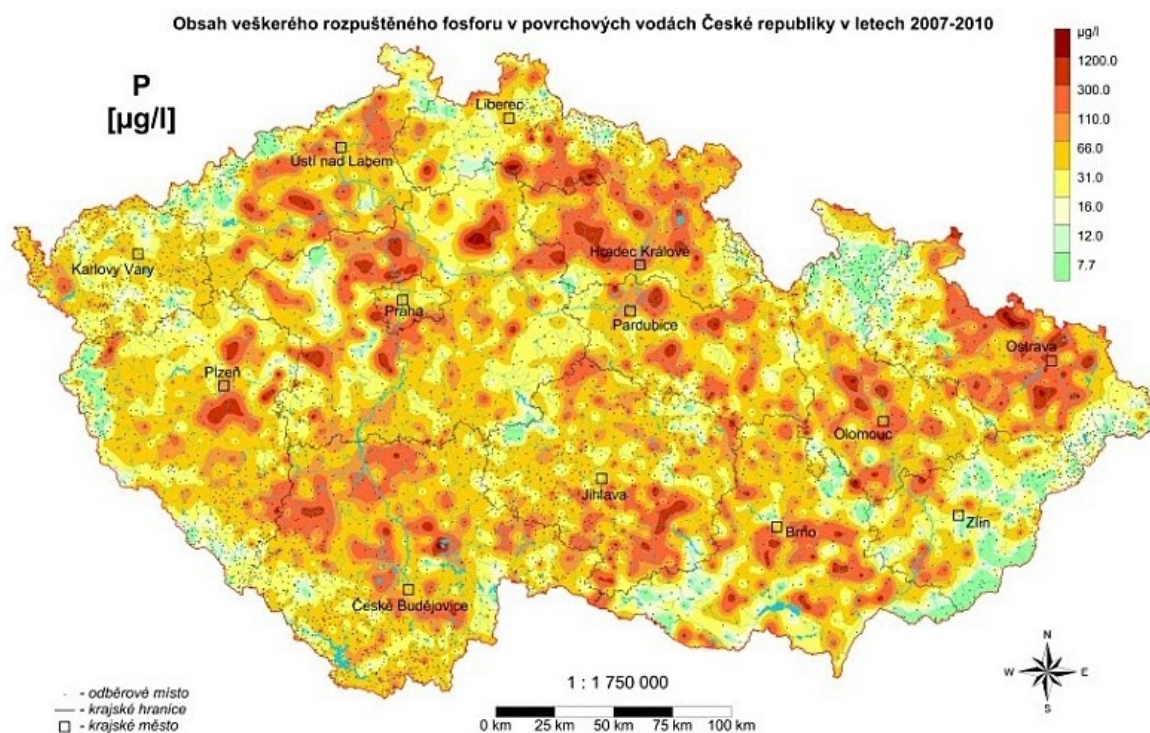
Zdrojem fosforu a dusíku není pouze průmyslové hnojení, ale také odpadní vody a eroze. Z hlediska dusíku to je také atmosférická depozice zplodin z dopravy, velkochovy hospodářských zvířat a chemické provozovny. Dříve byly největším zdrojem fosforu prací prášky a detergenty do myček na nádobí, to se ovšem v nedávné době dramaticky změnilo k lepšímu díky řadě vyhlášek a nařízení EU. [81, 123]

Plošné zdroje eutrofizace, tedy především jevy úzce spojené s intenzivním zemědělstvím (zejména eroze, ale také splachy z průmyslového hnojení) se podílí na „obohacování“

povrchových vod fosforem a dusíkem (obr. 3-8, 3-9). Podíl samotného zemědělství na této kontaminaci se odhaduje na 40 % pro dusík a 32 % pro fosfor. [81, 123]

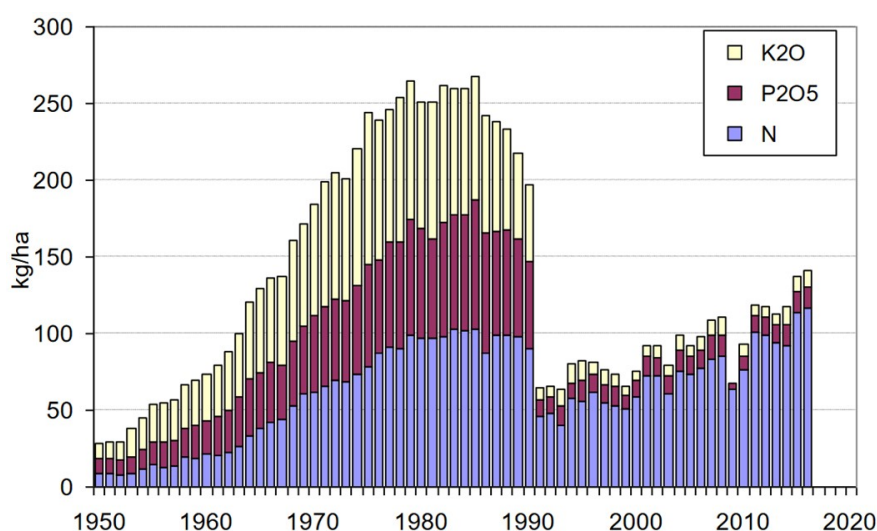


Obrázek 3-7. Koncentrace dusičnanů v povrchových vodách. Hranice pro pitnou vodu je 50 mg/l a pro environmentální kvalitu je 24 mg/l. [80]

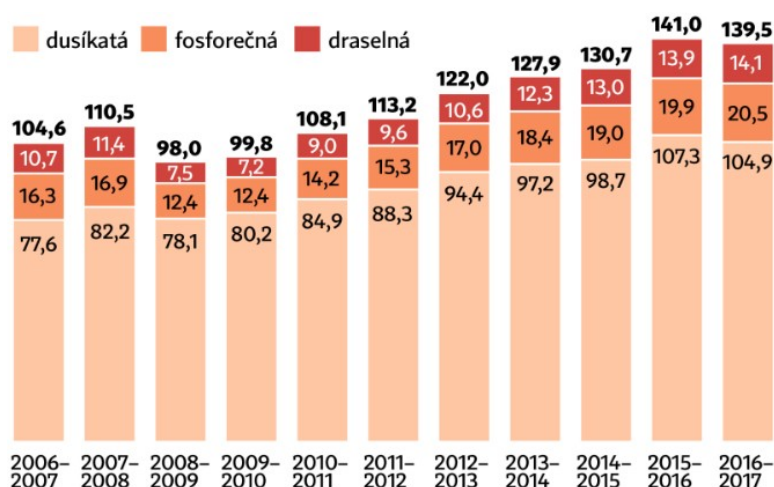


Obrázek 3-8. Koncentrace celkového fosforu v povrchových vodách. Hranice pro pitnou vodu je 150 µg/l a pro environmentální kvalitu je 50 µg/l. [80]

Za komunistického režimu byly v naší zemi aplikovány zbytečně velké objemy minerálních hnojiv na bázi fosforu a zemědělství mělo na eutrofizaci dominantní vliv. Sedimenty těchto aktivit jsou ve vodních recipientech naakumulované dodnes a budou pravděpodobně sloužit ještě mnoho let jako zdroj fosforu pro sinice i po snížení aktivních zdrojů fosforu (zejména eroze, ale také odpadních vod a průmyslových hnojiv). Situace se sice v oblasti minerálního hnojení i odpadních vod od té doby dramaticky zlepšila, nicméně erozní situace je pořád velmi neuspokojivá a množství minerálních hnojiv na bázi fosforu začíná zase pomalu narůstat (obr. 3-10, 3-11). Od roku 1990 se spotřeba dusíku při hnojení zvyšuje o zhruba 4,3 % ročně. Spotřeba minerálních hnojiv se bude pravděpodobně i nadále zvyšovat z důvodů zachování požadovaných výnosů a z důvodů postupného vyčerpání živin z období přehnojování z minulého politického režimu. [81]



Obrázek 3-9. Vývoj spotřeby minerálních hnojiv, ČR, 2017. [69]



Obrázek 3-10. Spotřeba průmyslových hnojiv na hektar obhospodařované zemědělské půdy (v kg živin). [98]

Pesticidy

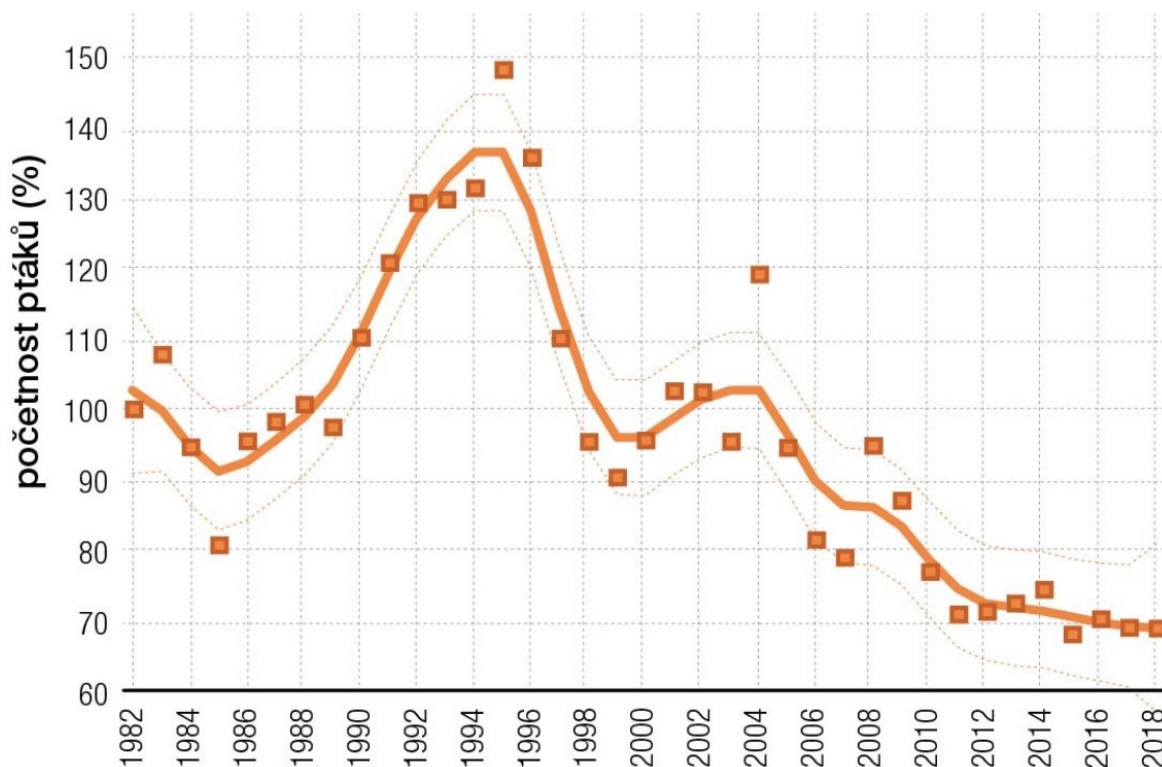
Pesticidy jsou chemické prostředky, které se využívají k zamezení ztrát na kulturních plodinách, zásobách potravin i krmiv. Mezi nejvýznamnější skupiny pesticidů patří insekticidy, herbicidy a fungicidy. Z hlediska zdravotní nezávadnosti potravin dále hrají velkou pozitivní roli zejména fungicidy, protože významně redukují různé patogenní organismy a plísně potenciálně způsobující různá vážná onemocnění. Zemědělství v ČR využívá zhruba 250 účinných látek. Pesticidy se využívají na drtivé většině orné půdy. [108, 109]

Největší problém řepky je její zranitelnost vůči celé řadě škůdců. Mezi nejproblematictější patří zejména škůdci z živočišné říše: krytonosec řepkový a šešulový, blýskáček řepkový, dřepčík olejkový a bejlmorka kapustová, nicméně jen v EU je známých zhruba padesát druhů možných škůdců řepky. Z toho důvodu se rostliny musí často chemicky ošetřovat a tím se dostává do půdy více chemie, která v ní zabíjí mikroorganismy a která také může kontaminovat podzemní vody. Vždy se aplikuje insekticid proti blýskáčkovi a krytonoscům, ale obvykle se aplikují i další postřiky. Kromě insekticidů se standardně aplikuje také fungicid. Řepku není v našich podmínkách možné kvůli její zranitelnosti efektivně pěstovat v bio standardu. [57, 62, 118]

Řepka vyžaduje zvýšenou míru ošetření pesticidy, nicméně není v tomto ohledu výjimkou. Většina ostatní energetické *biomasy*, stejně jako řepka, je také hojně ošetřována pesticidy (např. kukuřice nebo cukrová řepa).

Pesticidy jsou principiálně určeny k zabíjení živých organismů. Většina pesticidů není úzce specifických a tedy usmrcuje a intoxikuje široké spektrum půdních organismů. Obecně mají velmi negativní vliv na přirozený půdní edafon a mohou způsobit jeho úplný rozvrat (například dlouhodobé intenzivní používání herbicidů v ovocných sadech). Půda v ČR zaznamenává také velký úbytek žížal, na čemž se pesticidy výrazně podílí. Úbytkem života v půdě se zhoršují protierozní vlastnosti půdy, schopnost zadržovat vodu a schopnost půdy tvořit humus. Jakmile se jedovaté látky vstřebají, fauna má tendenci se do půdy opět vrátit (ze zeleně přilehlé k poli). Vzhledem k velkým půdním celkům je to ovšem pro tyto drobné organismy příliš velká vzdálenost, takže jsou na polích četná místa, o kterých by se s trochou nadsázky dalo říct, že půda v nich obsažená postupně degraduje do života zbaveného minerálního substrátu. Pesticidy se podílí na úhynu včel, dalších opylovačů

a motýlů. Hmyz se přitom podílí na opylování téměř 75 % všech plodin, které celosvětově konzumujeme. Německé studie sledují úbytek hmyzu a za posledních třicet let je každoroční průměrný úbytek 2,5 %. Jeho snížený výskyt se odráží mimo jiné i na snížené populaci ptactva (obr. 3-11). Každý pěstitel řepky je povinen nahlásit použití insekticidy dva dny před postřikem všem včelařům v okolí 5 km. To se ovšem často z praktických důvodů neděje, protože tito pěstitelé musí často aplikovat pesticid reaktivně ihned po výskytu škůdce, jinak je v ohrožení celá jejich úroda. [11, 34, 94, 96, 124, 125]



Obrázek 3-11. Početnost ptactva v zemědělské krajině v ČR. [125]

Pesticidy ovšem nepůsobí pouze v prostoru zemědělské půdy. Vzhledem k jejich plošné aplikaci průměrně pouze 65 % z aplikované dávky zasáhne rostliny, zatímco 25 % se dostane do půdy a 10 % se odpaří. Díky srážkám a erozi se tyto látky následně dostávají do okolních ekosystémů, kde nadále kolují v původní podobě nebo formě reziduí (které jsou často toxičtější než původní účinné látky) a dále působí škody. Objevují se v povrchové i podzemní vodě a začleňují se do potravinových řetězců, kde se následně v mnohých organismech bio-akumulují, působí hormonální rozvraty a další zdravotní problémy. Nejvíce ohroženi jsou tvorové na vrcholu potravinového řetězce, tedy zejména dravci, mrchožrouti a lidé. Většina pesticidů není pro člověka přímo toxických, ale jejich dlouhodobé působení je významně spojované s výskytem rakoviny, poruchami

reprodukce, výskytem obezity a cukrovky, dopadem na funkčnost jater, respiračními obtížemi, alergiemi a různými kožními onemocněními. [81, 91, 93, 96, 102, 108]

Naše konkrétní praktická zkušenost z experimentálního pole ukazuje, že minimálně přípravky na ošetřování řepky alespoň podle manuálu výrobce a osobní zkušenosti jsou pro člověka značně toxické. Hlavní složka pesticidu proti blýskáčkovi a krytonoscům (účinná látka chlorpyrifos) podle kalifornské studie způsobuje změny v některých částech mozku. Po vystavení této látce mají děti problémy s pamětí a inteligencí a trpí častěji autismem. I jen letmý kontakt těhotné ženy s touto látkou může vést k nevratným změnám v mozku ještě nenarozeného dítěte. Tato látka dále narušuje funkci hormonů v těle a celkově zhoršuje kognitivní schopnosti. Pesticidy se téměř vždy aplikují jako aerosol a mohou být tedy větrem snadno přeneseny i stovky metrů od pole s řepkou. Zemědělec aplikující pesticid má sice za povinnost informovat včelaře, nicméně žádnou legislativní povinnost varovat lidi žijící v blízkosti pole nemá. Existuje množství výpovědí o vážných zdravotních následcích koní, psů, ale i lidí žijících v oblastech přilehlých k ošetřovaným polím. [104, 105, 106, 114]

Množství pesticidů a jejich metabolitů se v podzemních vodách neustále zvyšuje a ve více než polovině případů byla přítomnost pesticidů detekována. Ve více než 40 % sledovaných vzorcích má jejich koncentrace nadlimitní hodnoty. Jedná se zejména o pesticidy používané na řepku, kukuřici a cukrovou řepu. Není překvapením, že tento problém se objevuje hlavně v zemědělských oblastech. V některých případech se pesticid objevuje v podzemní vodě v původní podobě nebo v podobě metabolitů i desítky let po svém zákazu (např. alachlor pro řepku nebo DDT). To je způsobeno tím, že přirozené čištění a rozklad pesticidů v podzemní vodě trvá desítky let, protože jde o chladné prostředí bez přístupu světla, kde je jen malé množství bakterií, které by mohly na rozkladu pracovat. Další riziko je vznik „koktejlového efektu“, tedy vzájemným působením účinných látek různých pesticidů a jejich metabolitů mohou vzniknout další nepředvídatelné velmi toxické látky. Pitná voda pochází zhruba z poloviny právě z podzemních vod. [10, 12, 97, 100, 101, 120]

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí (RECETOX) provedl roku 2015 rozsáhlý výzkum *orných půd* ze 75 lokalit naší země. Odběry vzorků proběhly v předjaří, tedy minimálně čtvrt roku po poslední aplikaci pesticidu, přesto jsou výsledky poměrně

alarmující. 51 % půd obsahuje pět a více pesticidů a 36 % půd obsahovalo minimálně tři látky v koncentraci vyšší než stanovené limity. Naše půdy v sobě dlouhodobě nesou značné množství pesticidů a jejich reziduí, včetně již dávno zakázaných a nepoužívaných pesticidů. Tyto látky se vyskytují ve směsích, které jsou často problematické jak ze zdravotního, tak ekologického hlediska. [103]

Státní zdravotní ústav roku 2017 provedl průzkum vody ze 170 *vodovodů* v ČR a v 75 % z nich byla objevena alespoň jedna z 21 sledovaných účinných pesticidních látek nebo jejich metabolitů. V 5 % případů se jednalo o překročení hygienického limitu. [107]

Přes 90 % celkové světové produkce *ovoce a zeleniny* obsahuje na svém povrchu zbytky pesticidů. Tyto látky jsou často ve vodě nerozpustné, takže je obtížné je odstranit pouhým omytím. Podle studie Státního zdravotního ústavu celkem 41 % analyzovaných vzorků potravin pesticidy obsahuje (tedy nejen ovoce a zelenina, ale i obilniny a živočišné produkty), z toho 3,6 % nad povolený limit. Tři čtvrtiny mléka a mléčných výrobků na českém trhu obsahují zbytky velmi toxického DDT. Ve studii provedené v roce 2017 Státní zemědělskou a potravinářskou inspekcí byla přítomnost pesticidů zjištěna v téměř 50 % případů, v roce 2019 dokonce 79 % případů! [111, 113, 114, 115]

Pesticidy nejsou tedy jen na polích, ale všude kolem nás – zejména ve vodě a potravinách. Množství každoročně aplikovaných pesticidů se přitom zejména ve světě dlouhodobě zvyšuje. V naší zemi jejich používání dlouhodobě spíše stagnuje. [106, 112]

Doprovodným problémem pesticidů je jejich nadužívání. Je-li farmář na vypůjčeném poli, při přípravě pole na ozimou setbu (v srpnu nebo v září) dává ekonomický smysl výdroly a divoce rostoucí rostliny na poli zlikvidovat herbicidem roundup namísto jejich zaorání – přestože je to z dlouhodobého hlediska neobyčejně špatné řešení. Farmář je také významně motivovaný používat pesticidy preventivně. Většinou nemůže čekat, až se škůdce objeví, protože to by už bylo pozdě, a musí tedy ošetřovat pole preventivně, což dále zvyšuje využití pesticidů.

Dlouhodobá udržitelnost používání pesticidů je problematická, protože cílené organismy se jim přizpůsobují a stávají se rezistentní. Například dřepčík si vybudoval rezistenci proti postřiku pyrethroidy. Je tedy neustále třeba vyvíjet nové a silnější pesticidy. [91, 92]

Jednotlivé pesticidy se od sebe samozřejmě výrazným způsobem liší – zejména toxicitou pro necílové organismy a rychlostí přirozeného rozpadu. Rovněž se začíná rozvíjet technika precizního zemědělství, kde se již neaplikují postřiky plošně, ale pouze na místa, která ošetření vyžadují. Tato práce se nesnaží posuzovat, v jaké míře, jakého druhu a zda-li je vůbec správné pesticidy používat. Pouze se snaží poukázat na určitý trend a možné problémy spojenými s jejich používáním. Zejména však chce zdůraznit kontrast mezi množstvím v jejich používání pro obě sledované obnovitelné technologie.

Celospolečenský dopad

Intenzivní zemědělství sice krátkodobě až střednědobě významně zvyšuje výnosy půdy, ovšem za cenu, kterou musí společnost dlouhodobě nést:

1. Ztráta biodiverzity
2. Degradace půd (snížování množství humusu i celkového života v půdě)
3. Zranitelnost vůči erozi

Spalování řepky

Energie z řepky se uvolňuje jejím spalováním ve spalovacím motoru. To s sebou neodmyslitelně nese globální problémy nejen s uvolňováním CO₂, ale také lokální problémy zejména s emisemi pevných částic, emisemi oxidů dusíku, oxidů síry, hlukem a zápachem. Automobily se spalovacími motory se také podílejí na znečišťování životního prostředí celou řadou kontaminantů pocházejících z otěru brzdových destiček [135].

3.3.2. Toxicita fotovoltaiky

Dříve bylo možné zaznamenat silnou kritiku fotovoltaických elektráren, protože se část z nich betonovalo přímo do země. Porost v areálu elektrárny se hubil silnými herbicidy. Ani jedna z těchto činností půdě neprospívá a je pravda, že tyto instalace mají na půdu negativní vliv.

Dnes je ovšem situace zcela jiná a není proto jen ekologický, ale také ekonomický důvod, protože herbicidy jsou poměrně drahé a beton nepraktický. Místo betonování se používají konstrukce, které se do země pouze zavrtávají, což půdě vůbec neškodí. U většiny elektráren se tráva jen mechanicky poseká, jinde ji zase spasou ovce. Půda si naopak pod

takovými panely odpočine a po skončení životnosti elektrárny ji lze bez větších komplikací začít zase využívat k produkci potravin. [37]

Fotovoltaice je někdy také vyčítána nízká odrazivost a podílení se na vzniku tepelných ostrovů způsobujících menší množství lokálních srážek. Z důvodů odvodu významného množství energie ve formě dopadného slunečního záření po elektrickém vedení je ovšem lokálně akumulovaná tepelná energie ve hmotě FVE obdobná jako u běžných polí. [2]

Fotovoltaická elektrárna nijak nepřispívá eutrofizaci, úbytku hmyzu a ptactva, zdravotním problémům obyvatel v přilehlých oblastech, kontaminaci vody toxickými látkami a těžkými kovy, kontaminaci půdy a destrukci edafonu ani kontaminaci ovzduší oxidy dusíku, síry a emisemi pevných částic.

3.3.3. Uhlíková stopa

Velkou obecnou nevýhodou biomasy je pravidelná nutnost jejího obhospodařování (hnojení, aplikace pesticidů, zalévání apod.), sklizení, transportu na místo spotřeby a následného zpracování (řezání dřeva, peletování, lisování oleje...). To vše se odráží na energetickém nákladu a tedy i na ekologické stopě vyjádřené ve formě ekvivalentu vypuštěného oxidu uhličitého (dále jen „uhlíkové stopě“). Pro pěstování řepky na jednom hektaru se přímo spotřebuje 0,3 tun nafty na pohon těžké techniky, dále ovšem následuje zpracování a distribuce a toho všeho musí být v energetickém souhrnu stále výrazně méně než očekávaný energetický výnos jedné tuny řepkového oleje (dvou tun v případě započtení energie v řepkovém šrotu). [51]

Podle nadnárodního ekologického sdružení Transport & Environment mají biopaliva z řepky olejné 1,2x horší emisní bilanci oxidu uhličitého v porovnání s fosilní naftou. Uhlíková stopa z dieselagregátů se běžně uvádí jako 840 g CO₂ na kWh produkované elektrické energie. Potom by tedy emisní bilance řepky byla zhruba 1 000 g CO₂ na kWh, což je zhruba stejně jako má hnědouhelná elektrárna. Pokud bychom započítali případnou výrobu elektrické energie také z řepkového šrotu (se zanedbáním nákladů na sušení a dovoz do elektrárny), řepka by měla uhlíkovou stopu přibližně 500 g CO₂ na kWh – tedy hodnotě odpovídající paroplynové elektrárně. Podle dalších studií má řepka uhlíkovou stopu zhruba 250 až 420 g CO₂ na kWh. [55, 56, 58]

Uhlíková stopa zásadním způsobem souvisí s poměrem energetického nákladu a energetického výnosu obnovitelné technologie. Jak víme, většina energetického nákladu u řepky se děje formou přímého spalování nafty ve spalovacích motorech zemědělské techniky nebo při rozvozu řepkových produktů. Protože známe poměrný energetický náklad řepky, můžeme z předchozích kapitol znalostí využít pro alternativní způsob výpočtu uhlíkové stopy řepky. Tak zjistíme, že základní uhlíková stopa řepky na území ČR je 336 g CO₂ na kWh (vztah 3.11).

(3.11)

$$CF_r = CF_n \times EC_r$$

$$CF_r = 840 \times 0,4 = \mathbf{336 \text{ g CO}_2/\text{kWh}}$$

kde

CF _n	uhlíková stopa nafty (CO ₂ na kWh ME nebo EE)	[g]
CF _r	uhlíková stopa řepky (CO ₂ na kWh ME nebo EE)	[g]
EC _r	relativní energetický náklad při produkci řepky	[%]

Tuto základní uhlíkovou stopu je nutné ještě navýšit z důvodů vzniku oxidů dusíku. Tyto oxidy vznikají díky velmi významnému syntetickému hnojení a také při samotném spalování biopaliv, kde vznikají ve dvojnásobném množství než u fosilních paliv. Nejenže jsou tyto oxidy zdraví škodlivé, ale jsou i podstatně účinnějším skleníkovým plynem než CO₂. Spočítat dopad těchto oxidů na celkový ekvivalent CO₂ je obtížný, proto si pomůžeme odhadem. [58, 128]

Pro účely této práce počítejme, že **řepka má celkovou uhlíkovou stopu přibližně 350 g CO₂ na kWh.**

Podle některých zdrojů je celková uhlíková stopa biopaliv v souhrnu dokonce horší než jejich fosilní alternativa. Tyto zdroje tvrdí, že podpora biopaliv v Evropě zvýší emise oxidu uhličitého do roku 2020 o 80 procent v porovnání s fosilními palivy, což je totéž, jako by na evropských silnicích přibýlo 12 milionů dalších aut. Tato tvrzení lze nicméně považovat za nepodložená a přehnaná (přestože pro některá biopaliva to může být pravda). [55]

U *fotovoltaiky* je energetická i materiálová „investice“ pouze jednorázová při konstrukci elektrárny (výroba panelů a komponent, jejich dovoz a instalace elektrárny) a při ukončení provozu této elektrárny po 25 až 30 letech (rozmontování elektrárny a doprava komponent na recyklaci). Nároky na pravidelnou údržbu jsou zcela zanedbatelné. Z toho důvodu je uhlíková stopa fotovoltaiky velmi příznivá a běžně se uvádí od 10 do 46 g CO₂

na kWh elektrické energie. Tento rozptyl je pravděpodobně způsoben velkým rozdílem v případě výroby panelů z primárních nebo recyklovaných materiálů, velkým rozdílem v energetické návratnosti v závislosti na zeměpisné poloze a také v závislosti použitého zdroje elektrické energie na jejich výrobu. Tyto bilance pravděpodobně nezapočítávají větší potřebu záloh energetické soustavy z důvodu nestálosti produkce fotovoltaiky. Tyto zálohy jsou někdy realizovány konvenčními zdroji, které obvykle běží v „teplé záloze“, při níž produkují emise, ale nevyrábějí elektřinu. [28, 56, 65, 66]

Pokud použijeme nákladovou metodu podobně jako u řepky a budeme předpokládat, že se panely vyrábí výhradně v Číně a že nejvýznamnější energetická položka jejich produkce je provoz obloukových pecí, získáme hodnotu 62 g CO₂ na kWh (vztah 3.12).

(3.12)

$$CF_f = CF_{eech} \times EC_f$$

$$CF_r = 620 \times 0,1 = \mathbf{62 \text{ g CO}_2/\text{kWh}}$$

kde

CF_{eech}	uhlíková stopa elektrické energie v Číně (CO ₂ na kWh) [130]	[g]
CF_f	uhlíková stopa fotovoltaiky (CO ₂ na kWh EE)	[g]
EC_f	relativní energetický náklad při produkci fotovoltaického panelu	[%]

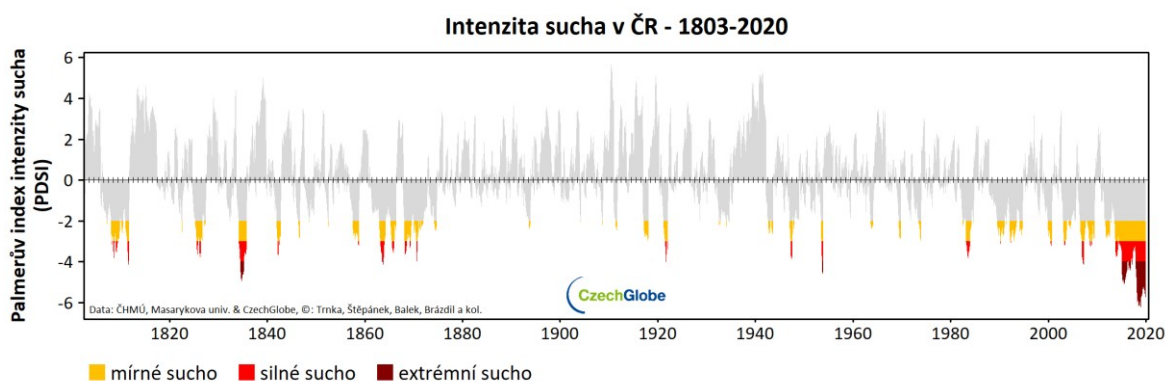
Z důvodů výše zmíněných proto odhadněme, že **fotovoltaika na našem území má celkovou uhlíkovou stopu 60 g CO₂ na kWh**. [28]

3.4. Rizikové faktory

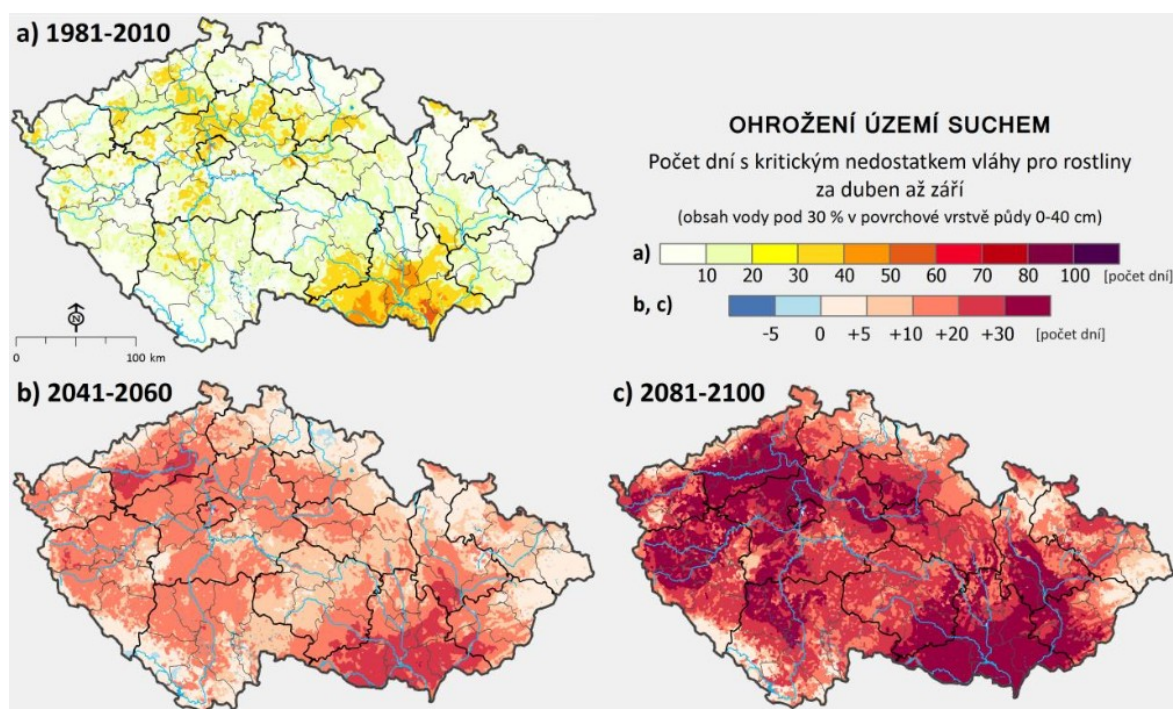
V této kapitole prověříme limitující faktory daných technologií. Tyto faktory lze souhrnně vyjádřit jako míra rizika a nejistoty vážící se k dané technologii.

3.4.1. Limitující fyzikální faktory

Každá *biomasa*, tedy i řepka, potřebuje ke svému růstu sluneční světlo. Dále potřebuje bohatý zdroj vody, živin (minerálů) a správnou půdu (nebo substrát), do které může zapustit kořeny. Některé rostliny preferují přímý svit, jiné jsou stínobytné. Obecně jsou náchylné na různé škůdce, plevel nebo plísň. Většinou prosperují pouze při určité vlhkosti a teplotě. Řepka například nesnáší příliš dobře vysoké teploty, nad 25 °C pozastavuje vegetaci a nad 30 °C ji ukončuje. Příliš silné lijáky, vichřice nebo krupobití mohou úrodu poškodit nebo zničit. Jarní prudká oteplení a následné mrazy mohou výrazným způsobem ovlivnit úrodu. **Všechny rostliny potřebují vodu nejen pro fotosyntézu, ale také pro respiraci.** Vody ovšem začíná být v naší zemi nedostatek. Biomasa neprodukuje energetické výstupy okamžitě, ale až při sklizni a do té doby se může celá řada věcí pokazit. Aby rostlina prosperovala, je nutné pro ni zajistit po celou dobu řadu specifických podmínek. Tyto podmínky je ovšem poměrně náročné předem zajistit, protože v důsledku klimatických změn se situace nepředvídatelně mění a prudké změny počasí jsou čím dál častější. Obzvláště alarmující je zvětšující se počet suchých dní na území naší republiky (obr. 3-12, 3-13). [73]



Obrázek 3-12. Intenzita sucha v ČR za posledních dvě stě let. [zdroj: intersucho.cz, osobní korespondence]



Obrázek 3-13. Výhled možného následku klimatické změny pro vláhový deficit na území ČR v letech 2050 a 2100 při zachování současného trendu změny klimatu podle průměrného scénáře. [127]

Fosfor je klíčový minerál v průmyslových hnojivech a z jeho celosvětové těžby jej na průmyslová hnojiva připadá 80 %. Z evropských ložisek se získává pouze 8 %, 92 % se tedy dováží. Při současné celosvětové poptávce vystačí zásoby zhruba sto let, nicméně fosfor bude stále častěji kontaminovaný těžkými kovy z důvodu hůře dostupných a méně kvalitních nalezišť. Přes 80 % zásob fosforu leží na politicky neklidném území západní Sahary. Intenzivní zemědělství bude v případě jeho nedostatku zásadním způsobem ohroženo. Fosfor sice nikam nemizí, ale skrze toky v ekosystému se postupně přesouvá na dna moří (v procesu tohoto přesunu způsobuje již několikrát zmíněnou eutrofizaci). Z moří sice existují přirozené materiálové toky zpět na pevninu, jsou ovšem tak pomalé, že bude časem nejspíš nutné tento fosfor z moří začít velmi nákladně těžit. Z těchto důvodů je fosfor na seznamu kritických surovin EU a mezi lety 2004 a 2010 se cena fosfátů devítinásobně zvýšila. [21, 81, 82]

Výčet fyzikálních limitujících faktorů pro biomasu:

- sluneční svit,
- kvalita půdy (zejména hloubka ornice, typ půdy, množství humusu a pH),
- dostatek vody,
- množství živin ve správném poměru ve správný čas,

- příznivá teplota,
- extrémní výkyvy počasí,
- škůdci, plísňe a konkurenční plodiny,
- nejistota dostupnosti hnojiv,
- dostupná těžká zemědělská technika a absence jejich poruch,
- vandalismus.

Fotovoltaika potřebuje také sluneční svit, ovšem poradí si podstatně lépe s dalšími limitujícími faktory. Fotovoltaika nevyžaduje žádné živiny, nezáleží jí na kvalitě půdy, sucho naopak zlepšuje výnosy, rozmarné počasí fotovoltaice neublíží, vysoké teploty sice snižují výnosy, ale produkci energie nezastavují. Panely jsou velmi odolné a i v extrémním případě, že popadají z nosných konstrukcí, fungují obvykle i nadále (nechtěně prakticky ověřeno na experimentálním poli). Přestože fotovoltaika produkuje velké množství energie, neexistují zatím na rozdíl od biomasy žádní škůdci, kteří by o ni projevovali zájem, protože jí nedokážou zpracovat. Materiály, ze kterých jsou složeny fotovoltaické elektrárny, jsou buď velmi dobře dostupné nebo je velmi dobře zvládnuta jejich recyklace.

Výčet fyzikálních limitujících faktorů pro fotovoltaiku:

- sluneční svit,
- absence poruch elektroniky (případné poruchy lze obvykle detekovat vzdáleně),
- vandalismus.

3.4.2. Geografické limitující faktory

Řepka potřebuje být pěstována na orné půdě s vhodnými vlastnostmi. Rozhodující je nadmořská výška, příznivý teplotní profil napříč rokem, vhodný typ a hloubka ornice a příznivé pH.

Fotovoltaika může být principiálně instalovaná všude tam, kde řepka, bude ovšem prosperovat i na jiných druzích orné půdy (například formou agrivoltaiky), které by pro řepku byly nevhodné. Navíc může být instalována na pastvinách, střechách domů, brownfieldech, na parkovištích, hladinách zatopených lomů... [1]

3.4.3. Limitující znalostní faktory

Pěstování řepky je velmi komplexní dovednost, k jejímuž zvládnutí je podle některých názorů potřeba tři až pět let. Je nezbytné správně pole připravit a zasít, dělat pravidelné rozbory půdy, velmi pečlivě dodržovat optimální poměry živin, správně je dávkovat a časovat. Dále je třeba být ostražitý vůči škůdcům a plísním a dělat správná a především včasná rozhodnutí ohledně aplikace pesticidů. Pěstování řepky je možné pokazit v kterémkoliv momentu, nicméně tato chyba začne být často zřejmá, až když už je pozdě na její nápravu.

Fotovoltaika má samozřejmě také svá specifika a vyžaduje znalosti elektrotechniky. Velkou výhodou ovšem je, že FVE produkuje energii po instalaci okamžitě a je možné velmi rychle celý systém vyladit aniž bychom ztratili několik let nepovedenými pokusy.

Výše uvedené můžeme potvrdit i ze zkušeností získaných na našem experimentálním poli. Přestože jsme udělali celou řadu chyb u obou technologií, výnos fotovoltaického systému je podstatně blíže optimálnímu referenčnímu modelu, zatímco řepka výrazně zaostává za očekáváním i přes všechnu naši upřímnou snahu.

3.4.4. Porovnání

Řepka má výrazně větší nároky na místo svého umístění, na příhodné počasí i fyzikální podmínky, na znalosti, pozornost a vybavení než fotovoltaika. Při pěstování řepky závisí mnohem více na štěstí a principiálně jde o podstatně rizikovější záležitost než provozovat fotovoltaickou elektrárnu.

3.5. Ekonomická efektivita

Žijeme v zemi se systémem tržního hospodářství a pouze to, co je ekonomicky efektivní (tvoří zisk) je z podnikatelského hlediska považováno za životaschopné. Řepka je zemědělci považována za jednu z nejvýnosnějších plodin. Fotovoltaika je naopak vnímána jako spíše drahá technologie a každý rok na ni jako spotřebitelé doplácíme desítky miliard.

V první části této kapitoly budeme porovnávat neoptimalizované „naivní“ podnikání s oběma sledovanými technologiemi. V druhé části se podíváme, jak toto porovnání ovlivní různé optimalizace. Ve třetí části se podíváme na nákladové a výnosové trendy a na jejich základě se pokusíme udělat velmi hrubou předpověď do budoucnosti.

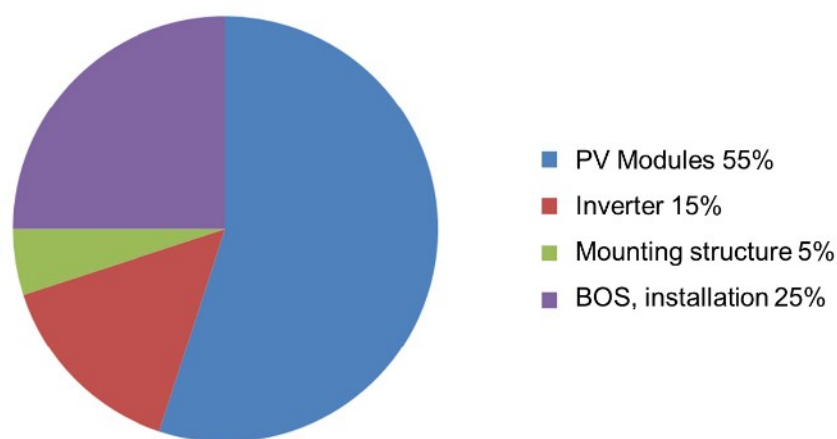
Téma této kapitoly by samo o sobě vydalo na samostatnou akademickou práci, proto nechť čtenář odpustí, že se výše uvedené analýzy odehrají pouze ve velmi hrubých obrysech a nejsou zamýšleny jako plnohodnotné ekonomické analýzy. Cílem této kapitoly není přesnost, ale názornost.

3.5.1. Ekonomická efektivita bez optimalizace

Předpokládejme, že jsme vlastníci hektarového pozemku, máme všechny znalosti nutné k využití dané technologie a v případě řepky máme také k dispozici těžkou zemědělskou techniku.

V případě pěstování řepky je naším výnosem prodej semen. Cena semen se pohybuje okolo 9 000 Kč za tunu. Z jednoho hektaru můžeme očekávat výnos zhruba 3 tuny semen. To nám dává **roční výnos řepky 27 000 Kč na hektar**. Pěstební náklady jsou zhruba 8 000 Kč na tunu. V této částce jsou zahrnuty náklady na příslušnou chemii (hnojiva, pesticidy...), lidskou práci, pohonné hmoty i amortizaci těžké techniky. Výsledný **roční náklad na řepku tedy bude 24 000 Kč**. Potom tedy **ekonomický zisk z pěstování řepky na jednom hektaru je zhruba 3 000 Kč** se zhruba 11% čistou marží. [52, 57]

V případě fotovoltaiky uvažujme elektrárnu o výkonu 1 000 kW s celkovou roční produkcí 1 000 MWh. Tuto produkci prodáme přes prostředníka do veřejné sítě za 0,5 Kč za kWh, čímž získáme **roční výnos fotovoltaiky na hektar 500 000 Kč ročně**. [33]



Obrázek 3-14. Rozdělení nákladů při konstrukci fotovoltaické elektrárny v roce 2017. [49]

Prvním klíčovým krokem pro určení nákladů na FVE je spočítání ceny její konstrukce. K tomu využijeme rozdělení nákladů podle koláčového grafu výše, spočítáme pouze cenu panelů a náklad dalších komponent poměrově odvodíme (obr. 3-14). Demontáž elektrárny jako nákladovou položku zanedbáme, přestože předpokládáme, že bude spíše lehce zisková. Náklad na sečení trávy a zařizování občasných reklamací zanedbáváme. Díky větší objednavce počítejme s cenou 5,2 Kč za W instalovaného panelu. Počítáme s jednou výměnou měničů v průběhu životnosti FVE a tedy pro jednoduchost počítejme s nákupem dvojnásobného množství měničů. Potom bude jednorázový náklad za tuto instalaci 10 890 000 Kč (vztah 3.13). [28, 50]

$$FVEC = PFVE \times MC_{czk} \times [(1 + IC_{rel}) / MC_{rel}] \quad (3.13)$$

$$FVEC = 1\,000 \times 5,2 \times [(1 + 0,15) / 0,55] = 10\,890\,000 \text{ Kč}$$

kde

MC_{czk}	náklad na instalovaný watt výkonu panelu	[Kč]
$PFVE$	výkon fotovoltaické elektrárny	[kWh]
$FVEC$	celková cena konstrukce fotovoltaické elektrárny	[Kč]
IC_{rel}	poměrný náklad za náhradní střídače	[%]
MC_{rel}	poměrná cena panelů	[%]

Dále počítejme, že na realizaci FVE si vezmeme půjčku s úrokovou sazbou 3,4 %. Pro fotovoltaiku je třeba rozpočítat náklady na celou její životnost. Počítejme tedy s 25 lety provozu. Na výpočet ročních splátek použijeme úvěrovou kalkulačku. Potom tedy celkový **roční náklad fotovoltaiky na hektar je 653 580 Kč. S fotovoltaickou instalací tak každoročně utrpíme na jednom hektaru ztrátu zhruba 150 000 Kč.** [131]

Výsledný zisk samozřejmě ovlivní ještě státní dotace. Na řepku ani novou fotovoltaiku (mimo střešní instalace) žádná přímá státní podpora není (zatímco na celou řadu plodin přímé dotace existují). V zemědělství ovšem existuje *jednotná platba na plochu zemědělské půdy*, která je v roce 2019 zhruba 3 400 Kč na hektar, což samozřejmě dále zlepšuje ekonomickou situaci pěstitele řepky. [53]

Pro úplnost je férové uvést, že řepka nemůže být na jednom poli pěstována každý rok a je třeba ji v osevním postupu střídat také s dalšími plodinami, které jsou podstatně méně výnosné (nebo nejsou výnosné vůbec, ale pouze zlepšují kvalitu půdy). To ovšem nic nemění na faktu, že pěstování řepky je ziskové.

V základním podnikatelském režimu je řepka zisková, zatímco fotovoltaika je beznadějně ztrátová.

3.5.2. Ekonomická efektivita s optimalizací

Při pěstování řepky již není mnoho možností pro optimalizace, proto se zaměříme na optimalizace pro FVE. Hlavní ekonomickou optimalizací je využití energie lokálně. Druhým zlepšením je přímý prodej elektrické energie na trhu OTE. Třetí navazující optimalizací je instalace akumulátoru pro lepší časování dodávek energie do sítě a obchodní vyvažování nákladů na odchylku.

Lokální spotřeba

V každém odvětví se významně liší nákupní a prodejní cena komodity, nicméně v málokterém je tento rozdíl tak dramatický jako u elektrické energie. Běžná výkupní cena kWh EE je 0,5 Kč, zatímco běžná nákupní cena EE pro maloodběratele je 4,5 Kč za kWh. Tento rozdíl je způsoben především díky započítání poplatků za distribuci a podporu OZE. Pokud ovšem energii vyprodukovanou v naší FVE nevedeme přes distribuční soustavu, ale dokážeme zpracovat lokálně, můžeme tak podstatně vylepšit ekonomickou stránku našeho projektu. Tuto energii můžeme využít pro naše přidružené synergické podnikatelské záměry nebo pro spřátelené partnery v blízkém okolí (kancelářská budova, technologická obsluha přilehlých skleníků, chladicí boxy, technologická provozovna, serverovna, těžicí stanice pro kryptoměny...), čímž vytvoříme významnou úsporu na odběru EE ze sítě. Obzvláště dobře tato synergie funguje s kancelářskou budovou, protože

časové rozložení její spotřeby významně koreluje s časovým rozložením produkce FVE.
[132]

Přímý prodej elektrické energie

Elektrickou energii není nutné prodávat přes prostředníka. Denní, vnitrodenní i vyrovnávací trhy OTE jsou otevřené prostředí, na kterém můžeme energii produkovanou v naší FVE prodávat automatizovaně sami. Tím získáme významně lepší cenové podmínky, nicméně to na druhé straně vyžaduje zařídit si licenci obchodníka na trhu OTE, seznámit se s celým burzovním prostředím a pravděpodobně si pronajmout software třetí strany, který bude automaticky napojený na systém předpovědí počasí. [17]

Přímý prodej EE je významnou optimalizací, kterou je možné ještě dále zlepšit použitím lokálního akumulátoru. Ten nám umožní prodávat produkovanou EE v časech, kdy je za ni nabízena lepší cena, ale hlavně nám umožní snížit náklad na odchylku. Odchylka nastává například tehdy, když přislíbíme dodání určitého množství energie na následující den, reálně ovšem dodáme z jakéhokoli důvodu menší (nebo větší) množství. Operátor trhu nás následně penalizuje, protože jsme nedodrželi kontrakt a zvýšili tak operativní zátěž provozovatele přenosové soustavy (ČEPS). Pomocí akumulátoru můžeme tyto nežádoucí penalizace minimalizovat.

Při použití částečných optimalizací pro FVE se nám změní jak výnosy, tak náklady. Počítejme, že se nám podaří 20 % vyprodukované energie spotřebovávat lokálně, kde nám nebo našemu partnerovi ušetří 2 Kč za kWh. Dále počítejme, že zbytek energie budeme prodávat na spotovém trhu OTE s průměrnou cenou elektrické energie 1 100 Kč za MWh, nicméně je třeba započítat nejméně 30 % z prodejní ceny jako náklad na odchylku. Potom je **roční výnos naší FVE instalace 928 000 Kč** (vztah 3.14). [17]

(3.14)

$$FVEC = EEP_l \times EEV_{\text{save}} + EEP_g \times EEV_{\text{czk}} \times (1 - EOTE)$$

$$FVEC = 200\,000 \times 2 + 800\,000 \times 1\,100 \times (1 - 0,3) = 400\,000 + 616\,000 = 1\,016\,000 \text{ Kč}$$

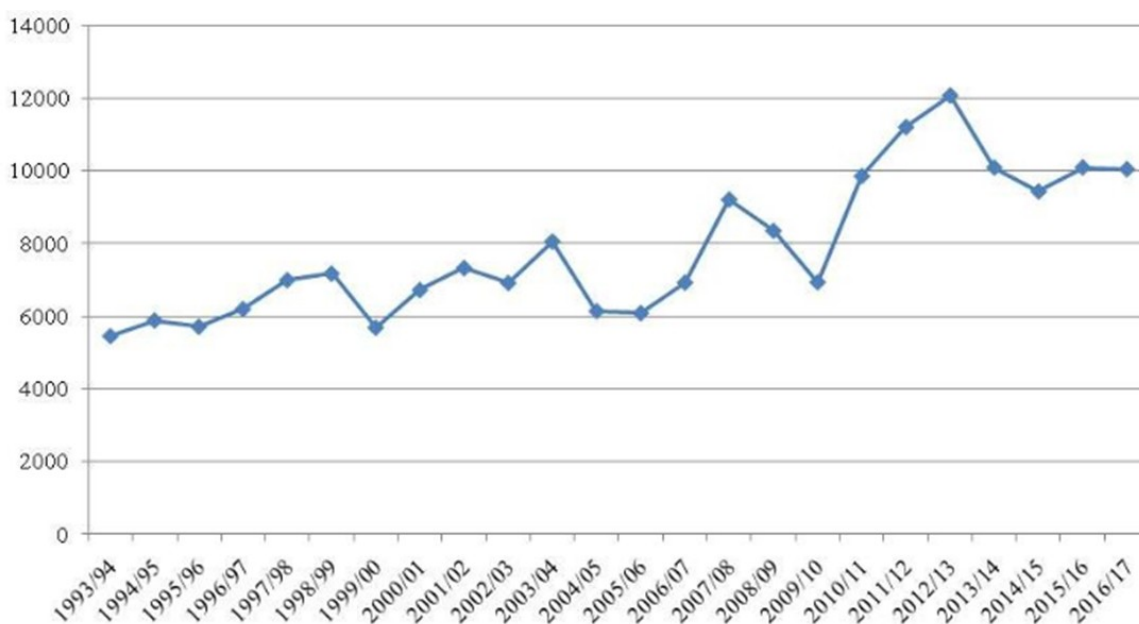
kde

EEV_{czk}	průměrná hodnota kWh EE na spotovém trhu	[Kč]
EEV_{save}	průměrná úspora za lokálně odebranou kWh EE	[Kč]
EEP_l	lokálně spotřebovaná elektrická energie	[kWh]
EEP_g	prodaná elektrická energie na trhu OTE	[kWh]
$EOTE$	náklad na odchylku	[%]

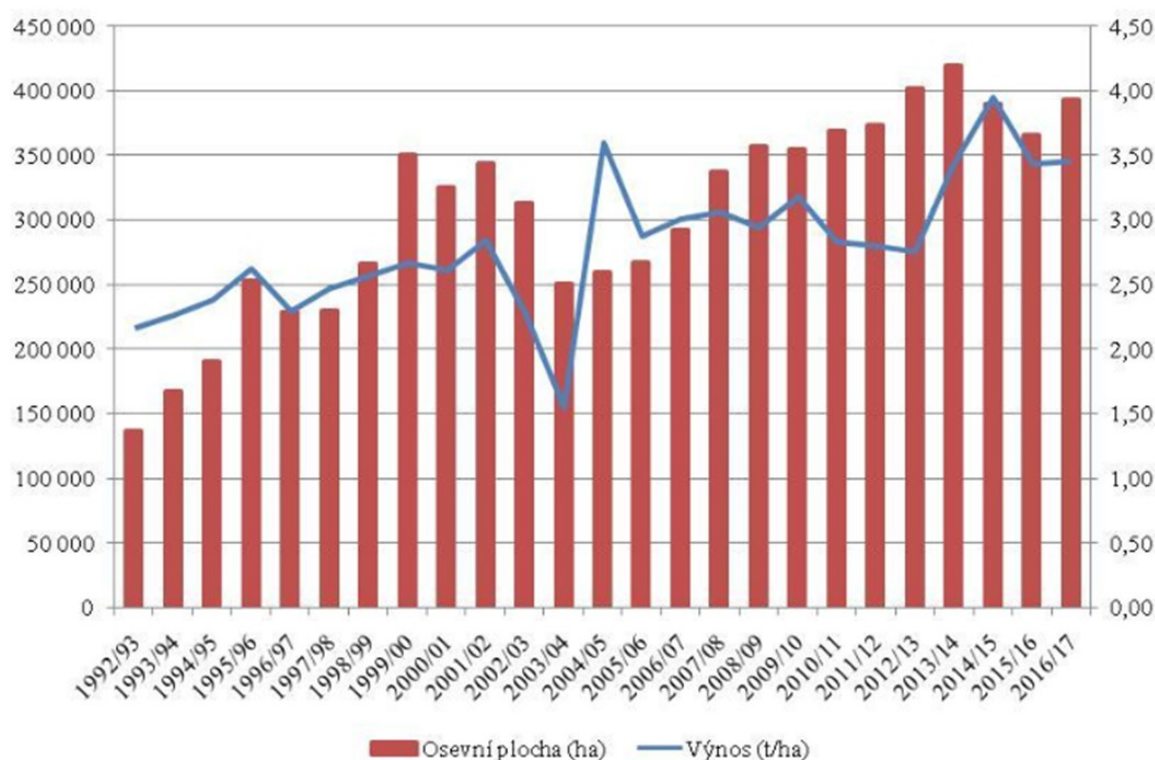
Nákladová položka naší elektrárny se také změní. S jistotou víme, že budeme mít větší náklady na elektrotechnické propojení s lokálním spotřebitelem, na obchodnickou licenci OTE a na pronájem (nebo vývoj) softwarového řešení. Velmi hrubým odhadem zvýšme náš původní roční náklad o dalších 200 000 Kč. Potom **celkovým nákladem naší fotovoltaické elektrárny je 878 580 Kč. Každoroční zisk z podnikání na jednom hektaru plochy je přibližně 140 000 Kč se zhruba 14% čistou marží.**

3.5.3. Nákladový a výnosový trend

Výnosy i náklady řepky jsou dlouhodobě poměrně stabilní s tendencí velmi lehkého růstu (obr. 3-15, 3-16). Při zkoumání vývoje výkupních cen řepky stojí za povšimnutí rok 2008 a dále, kdy se cena semene zvýšila o desítky procent díky povinnému přimíchávání methylesteru řepky do nafty.



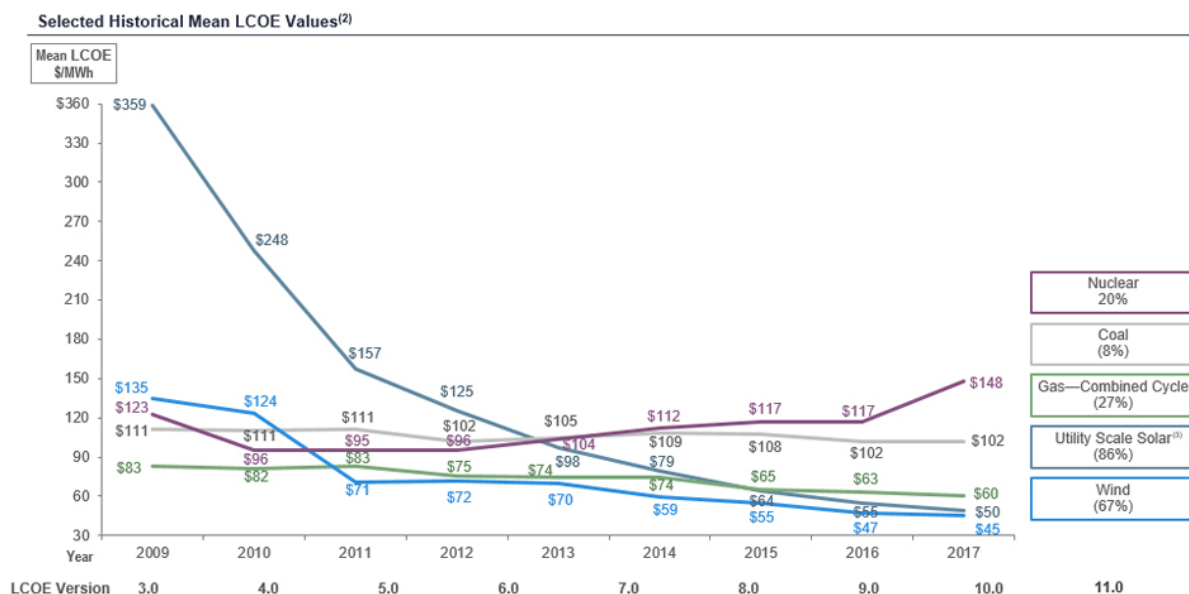
Obrázek 3-15. Vývoj výkupních cen řepky (Kč/t semene). Odpovídá ročnímu růstu zhruba 2,5 %, což je mírně vyšší než inflace. [67]



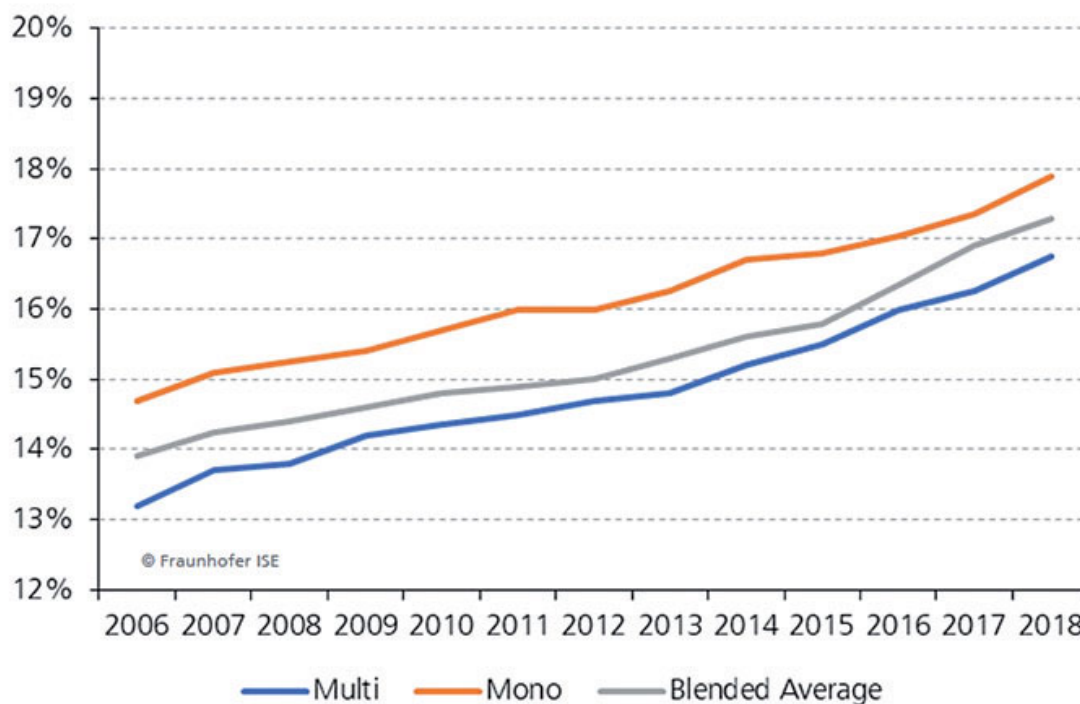
Obrázek 3-16. Vývoj výnosu na hektar při pěstování řepky, ČR, 2017. Odpovídá ročnímu růstu zhruba 1,9 %. V letech 2018 a 2019 došlo ale ke snížení a narušení trendu vlivem sucha. [67]

Velkým rizikem u pěstitelů řepky je odklon od povinného přimíchávání biopaliv, protože tím by se významně snížila poptávka, což by se odrazilo i na ceně. Řepka je bez vynucené administrativní podpory totiž zcela nekonkurenceschopná jak při výrobě elektrické, tak mechanické energie. Při současných cenách je primární energie v jejích nezpracovaných semenech hodnocena na 1,35 Kč za kWh, což je nesmyslně mnoho při porovnání s naftou, ale i elektrickou energií. Z hlediska pěstitele je velkou výhodou, že se řepka pěstuje pouze jeden rok. Při náhlé změně podmínek je tedy možné absorbovat ztrátu za jediný rok a příští rok už pěstovat jiné plodiny. [59, 60]

Vývoj cen *fotovoltaických* elektráren prochází v posledním desetiletí zcela dramatickou změnou. Jen za poslední desetiletí poklesla cena fotovoltaických elektráren o 80 % a lze tušit, že trend snižování ceny bude díky úsporám z rozsahu a technologickým inovacím pokračovat i nadále (obr. 3-17, 3-18).



Obrázek 3-17. Vývoj cen nákladů na konstrukci elektráren v čase, USA, 2017. Pro fotovoltaiku se jedná o celkový pokles ceny o 86 % za osm let. [62]

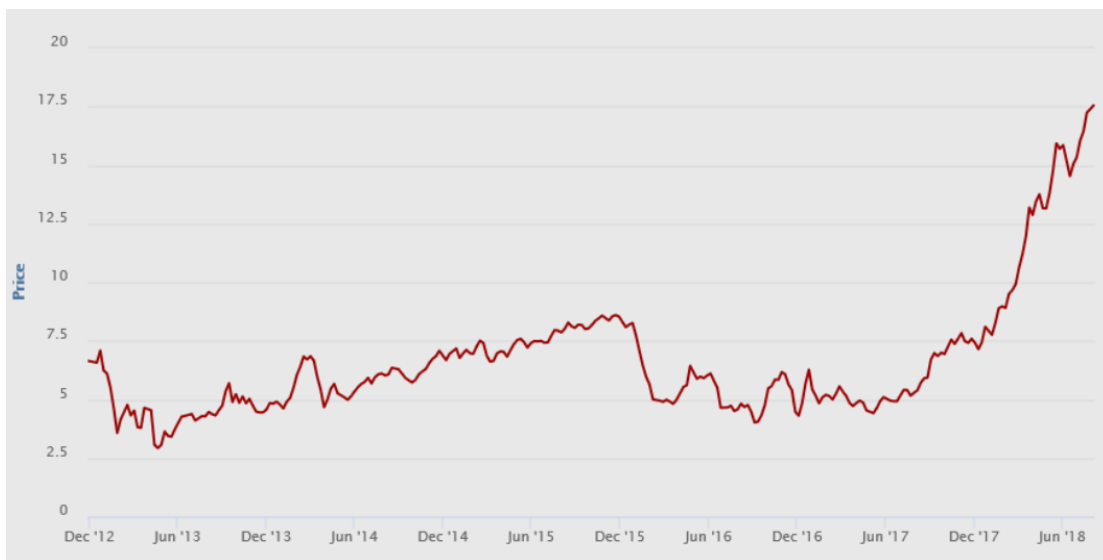


Obrázek 3-18. Vývoj účinnosti krystalických křemíkových panelů. Odpovídá ročnímu růstu zhruba 1,9 %. [68]

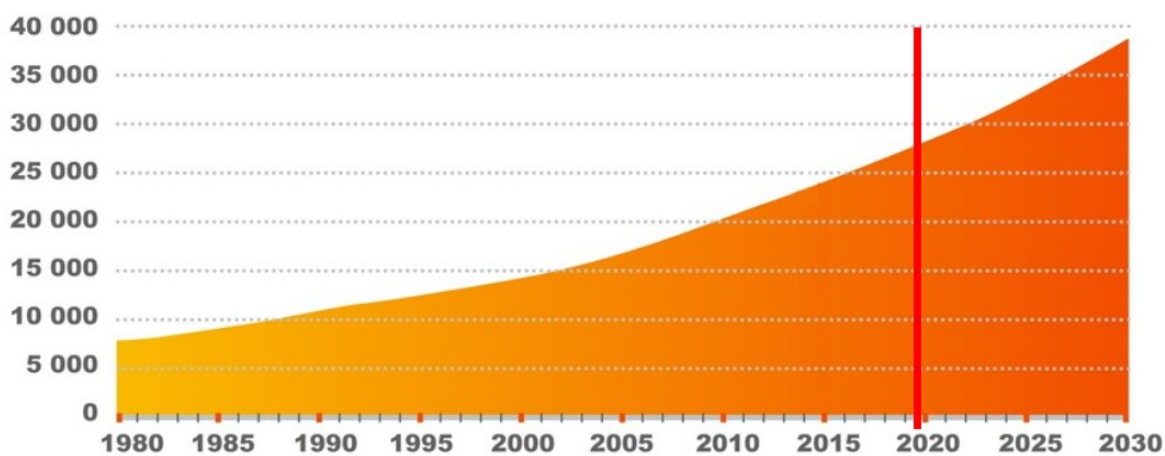
Ekonomika fotovoltaiky je významným způsobem vázána na cenu elektrické energie. Opatrný investor by tento fakt mohl považovat za významné riziko, protože po instalaci elektrárny a významném poklesu ceny elektrické energie hrozí, že bude celou svoji životnost prodělečná. Naopak, pro disruptivního investora je silná vazba ekonomiky fotovoltaické elektrárny na cenu elektrické energie spíš příležitostí. Není totiž příliš

pravděpodobné, že by cena elektrické energie na našem území v následujících desetiletích výrazně klesala především z těchto důvodů:

- nastupující elektromobilita,
- celoevropské dosluhování uhelných elektráren, nové se staví zcela minimálně,
- výrazné zdražování jaderných elektráren z důvodů zvýšených požadavků na jejich bezpečnost, dosluhování stávajících nebo jejich předčasné zavírání (zejména v Německu),
- rostoucí cena emisních povolenek, která zdražuje provoz fosilních elektráren, což vyvolává silný tlak na celkově vyšší ceny EE na burze (obr. 3-19, 3-21),
- rostoucí celosvětová poptávka po energii (obr. 3-20).



Obrázek 3-19. Vývoj ceny emisních povolenek, cena je v EUR za povolenku na emisi tuny CO₂. [61]



Obrázek 3-20. Celosvětový růst spotřeby energií (TWh/rok). [65]



Obrázek 3-21. Vývoj velkoobchodní ceny elektrické energie na německé burze PXE za posledních deset let, která je pro naši zemi určující (EUR/MWh). [18]

3.5.4. Porovnání

Pěstování řepky je sice rizikové, nicméně z ekonomického hlediska dlouhodobě ziskové. Provozování fotovoltaické elektrárny v „naivním“ režimu je ztrátové, nicméně při rozumném využití optimalizací je ziskové již dnes, a to bez jakýchkoliv dotací.

U řepky se můžeme těšit významné podpoře současné administrativy. Máme zajištěný odbyt v podobě biopaliv a dostáváme dotace ve formě *jednotné platby na plochu zemědělské půdy*. Přestože pěstování řepky působí ve srovnání s provozovanou FVE významné externality, nemusíme se jako jejich pěstitel na jejich nápravě finančně podílet (investice do čističek kontaminované vody, zátěž zdravotnického systému, kompenzace rozkladu ekosystémů apod.). Tyto současné výhody jsou zároveň potenciální rizika, protože mohou být s nástupem nového administrativního aparátu opět odebrány. Fotovoltaika nemá v naší zemi podporu naopak téměř žádnou, což se principiálně může měnit spíše směrem k lepšímu. Postupnou eskalaci klimatické změny bude stále větší tlak na řešení, která dávají smysl. To je příležitost fotovoltaiky.

3.6. Shrnutí

Výhoda řepky je ve velmi dobré možnosti **akumulovatelnosti** jejího energetického produktu. Na druhou stranu, řepka vykazuje alarmující **energetickou neefektivitu**, protože využívá kombinaci neúčinné fotosyntézy a následného použití biopaliva ve spalovacím motoru. Má značně nepříznivou **uhlíkovou stopu** z důvodu nutnosti významného obhospodařování a přitom nízkých energetických výnosů. Jako každá biomasa podléhá velmi mnoha **rizikovým faktorům** – za nejvýznamnější lze považovat nastupující sucho. Dalším problémem řepky je významná **toxická** kvůli nezbytnosti hojného používání pesticidů. Fotovoltaika je podstatně **materiálně obnovitelnější** a při studiu **nákladového a výnosového trendu** se na rozdíl od řepky jeví jako technologie budoucnosti.

Tabulka 3-2. Porovnání sledovaných atributů energetických technologií.

Atribut	Řepka	Fotovoltaika
Užitný energetický zisk z hektaru plochy	4,2 MWh/rok	828 MWh/rok
Akumulovatelnost	Dobrá	Špatná
Materiálová obnovitelnost	Nepříznivá	Velmi příznivá
Bilance organické hmoty v půdě	Příznivá	Velmi příznivá
Erozní zranitelnost	Střední	Velmi nízká
Toxicita	Významná	Zanedbatelná
Uhlíková stopa	350 g/kWh	60 g/kWh
Rizikové faktory	Významné	Minimální
Ekonomická efektivita bez optimalizace	Zisková	Ztrátová
Ekonomická efektivita s optimalizací	Zisková	Zisková
Nákladový a výnosový trend	Neutrální	Velmi příznivý

V přímém porovnání tak fotovoltaika vychází lépe v téměř všech sledovaných parametrech (tab 3-2).

Nutno podotknout, že ostatní energetické plodiny jsou na tom podobně a často ještě mnohem hůře – např. kukuřice – především v důsledku velmi nepříznivé **bilance organické hmoty v půdě** nebo **erozní zranitelnosti**.

4. Závěr

Fotovoltaika je na rozdíl od řepky velmi energeticky účinná na jednotku plochy, je podstatně příznivější z hlediska materiální obnovitelnosti, má výrazně nižší uhlíkovou stopu, působí protierozně, je prospěšná pro zdraví půdy, její výnosy jsou mnohem předvídatelnější, její používání nevyžaduje hluboké znalosti a zkušenosti. Provozování fotovoltaiky nepůsobí škody na okolních ekosystémech, nekontaminuje povrchovou ani podzemní vodu, neznečišťuje vzduch ani půdu a nepůsobí zdravotní problémy. Fotovoltaika je při vhodném návrhu ekonomicky efektivní a má při pohledu do pravděpodobné budoucnosti neobyčejně příznivý nákladový i výnosový trend.

V této práci bylo ukázáno, že v naší zemi lze uvažovat **potenciál fotovoltaiky mimo ornou půdu na 80 000 ha**. To odpovídá přibližně 1 % rozlohy naší země. Energetický výnos takové instalace by odpovídal přibližně 80 TWh elektrické energie za rok, což je více, než naše země každý rok spotřebuje. Energetické plodiny každoročně zabírají zhruba 5 % rozlohy ČR a jejich energetický výnos je přitom zcela zanedbatelný. Je toto racionální a efektivní využívání prostoru, který nám naše země poskytuje?

Obecný problém energetické biomasy je velmi neefektivní způsob získávání energie prostřednictvím fotosyntézy. Dalším aspektem, který snižuje její efektivitu, je potřeba část produkce každoročně vracet půdě z důvodu udržení vysoké úrovně humusu. Primárně pěstovaná energetická biomasa se proto jeví v jakkoli významnějším měřítku jako velmi nepraktické řešení.

Cílem této práce není odsoudit biomasu jako takovou, ale nechat ji prosperovat v tom, v čem vyniká – tedy produkci potravin. Chemická energie uložená v potravinách je stále jediný druh energie, který umí naše tělo univerzálně využívat. Naopak „užitkovou“ (elektrickou nebo mechanickou) energii mohou podstatně lépe produkovat jiné technologie. Přesto se odhadem na 15 % orné půdy pěstuje nepotravinářská produkce. Jedná se zejména o řepku, cukrovou řepu a obilniny (bionafta, bioethanol) a kukuřici (bioplynové stanice, bioethanol).

Také není smyslem této práce tvrdit, že energetická biomasa je zcela chybný koncept. Proti tvorbě pelet z odpadní rostlinné biomasy vzniklé z technologických procesů (pazdeří, štěpka...) a jejich následnému využití v automatických kotlích (nebo malých elektrárnách

na biomasu) se jeví praktičtěji, než opětovný odvoz této biomasy na pole na zaorání. Stejně tak odpad z potravinářské výroby, kaly ze septiků a čističek odpadních vod nebo komunální organický odpad stěží najde lepší uplatnění než v bioplynových elektrárnách. **Cílené pěstování biomasy pro dopravní a elektro-energetické účely se ovšem zejména z důvodu podstatně lepší alternativy ve formě fotovoltaiky jeví jako krok zcela špatným směrem.** Z tohoto hlediska jsou bioplynové stanice a tepelné elektrárny využívající primární biomasu stejně zavrženíhodné, jako biopaliva 1. generace.

Tato práce rovněž podkryla, že v naší zemi není pouze specifický problém s příliš velkým množstvím řepky na polích, ale mnohem větší a závažnější systémový problém v celém zemědělství. Prakticky všechny hlavní hospodářské plodiny jsou v ČR pěstovány dlouhodobě neudržitelným způsobem (tedy i pšenice, které je na našich polích třikrát víc než řepky). **Pěstování energetické biomasy pouze přidává k již závažnému problému ještě další zbytečnou zátěž.**

Pokud by stát dospěl k rozhodnutí, že fotovoltaické panely zajistí nejen dopravu, ale také veškerou elektrickou energii v Česku, z čistě matematického hlediska by k tomu stačila ani ne polovina výměry, kterou dnes zabírá řepka olejná. Panely na ploše o něco málo větší, než je rozloha Prahy, by tedy čistě teoreticky dokázaly nahradit veškeré jaderné a fosilní elektrárny, stejně jako veškeré čerpací stanice v naší zemi. Přesto je státní podpora nových fotovoltaických elektráren i elektromobility zcela zanedbatelná a ani se s ní v budoucnosti příliš nepočítá (tab. 4-1), zatímco z energetického i ekologického hlediska zcela nepraktická zákonná povinnost přimíchávání biopaliv 1. generace do pohonných hmot stále trvá a hrozí, že se dočkáme ještě jejího navýšení (tab. 4-2).

Tabulka 4-1. Současná a plánovaná struktura rozvoje obnovitelných zdrojů v elektroenergetice podle Národního klimaticko-energetického plánu MPO 2018 (TJ). [1]

	2016	2020	2025	2030
Biomasa mimo domácnosti	7 443,9	8 431,2	8 607,8	8 988,4
Vodní elektrárny	8 205,5	7 944,5	7 299,8	7 106,7
Biologicky roz. část TKO	354,8	432,8	1 354,4	1 479,1
Bioplynové stanice	9 320,5	9 469,5	8 970,0	5 683,0
Geotermální energie	0,0	152,1	152,1	404,1
Větrné elektrárny	1 867,1	2 424,8	3 572,3	5 115,7
Fotovoltaické elektrárny	7 673,2	8 050,8	8 374,8	9 490,8
Celkem	34 865,0	36 905,7	38 331,2	38 267,8

Tabulka 4-2. Současná a plánovaná spotřeba biopaliv podle Národního klimaticko-energetického plánu MPO 2018 (TJ). [1]

	2016	2020	2025	2030
Biopaliva 1. generace	12 580,0	18 557,9	19 825,5	20 390,9
Biopaliva 2. generace	–	–	2 666,1	9 030,3
Elektřina z obnovitelných zdrojů	1 617,3	1 840,6	980,6	1 089,8
Celkem	14 197,3	20 398,5	23 472,2	30 511,0

Tato práce měla ukázat, která ze dvou v úvodu zvolených cest je udržitelnější, dlouhodobě ekonomičtější, bezpečnější, účinnější a ekologičtější. U fotovoltaiky stále ještě nemáme zodpovězené všechny otázky, přesto je zřejmé, že je to ve srovnání s energetickým využitím primární biomasy velmi perspektivní technologie.

Poděkování

Děkuji především rodině za velmi významnou podporu a pochopení.

Dále děkuji vedoucí této bakalářské práce Veronice Sassmanové za neobyčejnou ochotu a významnou pomoc především v oblasti adekvátního strukturování akademické práce.

Děkuji také svým kolegům Davidovi Hamrovi, Dušanovi Kútníkovi a Jaroslavovi Bublovi za upřímný zájem o zkoumanou problematiku a za podnětné a inspirativní připomínky.

Seznam obrázků

Obrázek 2-1. Rozloha osázených polí v ČR podle typu plodiny	11
Obrázek 2-2. Proces výroby MEŘO	14
Obrázek 2-3. Proces výroby řepkového oleje	15
Obrázek 2-4. Relativní zastoupení řepky na orné půdě v zemích EU v roce 2017	16
Obrázek 2-5. Kumulativní výkon fotovoltaiky v ČR.....	18
Obrázek 2-6. Vertikální agrivoltaika.....	23
Obrázek 2-7. Cena elektrické energie z 11. 10. 2018 na denním trhu OTE.....	24
Obrázek 2-8. Horizontální agrivoltaika	24
Obrázek 2-9. Experimentální pole. Záběr je z 16. 9. 2019.....	26
Obrázek 3-1. Zjednodušené schéma fotosyntézy.....	28
Obrázek 3-2. Posklizňová návratnost živin z řepky olejné do půdy.....	39
Obrázek 3-3. Materiálové složení krystalického křemíkového panelu.....	40
Obrázek 3-4. Zjednodušený koloběh živin a organické hmoty v přírodě	45
Obrázek 3-5. Ohrožení půdy a její potenciální ztráty vodní erozí	48
Obrázek 3-6. Pěstovaná plodina na polích zasažených erozí	50
Obrázek 3-7. Koncentrace dusičnanů v povrchových vodách	53
Obrázek 3-8. Koncentrace celkového fosforu v povrchových vodách	53
Obrázek 3-9. Vývoj spotřeby minerálních hnojiv, ČR, 2017	54
Obrázek 3-10. Spotřeba průmyslových hnojiv na hektar zemědělské půdy (v kg živin)	54
Obrázek 3-11. Početnost ptactva v zemědělské krajině v ČR.....	56
Obrázek 3-12. Intenzita sucha v ČR za posledních dvě stě let.....	63
Obrázek 3-13. Výhled vláhového deficitu na území ČR v letech 2050 až 2100.....	64
Obrázek 3-14. Rozdělení nákladů při konstrukci fotovoltaické elektrárny v roce 2017.....	68
Obrázek 3-15. Vývoj výkupních cen řepky (Kč/t semene)	71
Obrázek 3-16. Vývoj výnosu na hektar při pěstování řepky, ČR, 2017	72
Obrázek 3-17. Vývoj cen nákladů na konstrukci elektráren v čase, USA, 2017.....	73
Obrázek 3-18. Vývoj účinnosti krystalických křemíkových panelů	73
Obrázek 3-19. Vývoj ceny emisních povolenek (EUR/tuna CO ₂)	74
Obrázek 3-20. Celosvětový růst spotřeby energií (TWh/rok)	74
Obrázek 3-21. Vývoj velkoobchodní ceny elektrické energie na PXE (EUR/MWh)	75

Seznam tabulek

Tabulka 2-1. Možnosti využití energetické biomasy.....	17
Tabulka 3-1. Materiálové výnosy z recyklace fotovoltaického panelu na území ČR.....	41
Tabulka 3-2. Porovnání sledovaných atributů energetických technologií.	76
Tabulka 4-1. Současná a plánovaná struktura rozvoje OZE podle plánu MPO 2018 (TJ)	78
Tabulka 4-2. Současná a plánovaná spotřeba biopaliv podle plánu MPO 2018 (TJ).....	79

Seznam použité literatury, internetové zdroje a citace

- [1] *Rozvoj obnovitelných zdrojů do roku 2030*, Deloitte 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/energy-resources/rozvoj_obnovitelných_zdrojů_do_roku_2030_3.pdf>.
- [2] SPELLMAN Frank R., *Environmental impacts of renewable energy*, 2015 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.slideshare.net/cata206/environmental-impacts-of-renewable-energy-2014>>.
- [3] *Největší české elektrárny*, Fotovoltaickepanely.eu [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/>>.
- [4] BOČEK Jan, CIBULKA Jan, KOČÍ Petr, SEDLÁČEK Štěpán, *Dobrodružství fotovoltaiky*, iROZHLAS 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/fotovoltaika-energetika-obnovitelne-zdroje_1912040600_jab>.
- [5] *Evropské žluté prvenství Česka*, iROZHLAS 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/repka-dotace-zlute-pole_1805100610_pek>.
- [6] HAVEL Petr, *Řepka jako symbol zla*, 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.info.cz/cesko/repka-jako-symbol-zla-jak-ohrozuje-krajinu-a-cim-naopak-pomaha-vysvetluje-agrarni-analytik-9992.html>>.
- [7] VESELOVSKÝ Martin, *Česko je žluté a ještě dlouho bude*, DVTV 2019 [online], video, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://video.aktualne.cz/dvtv/cesko-je-zlute-a-jeste-dlouho-bude-zjistili-jsme-proc-repka/r~eef6db406f5311e98a200cc47ab5f122/>>.
- [8] HAVEL Petr, *Řepka je pro pole největší problém*, 2015 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://neviditelnypes.lidovky.cz/ekonomika/ekologie-repka-neni-pro-pole-nejvetsi-problem.A150513_183327_p_ekonomika_wag>.
- [9] STRATILÍK Ondřej, *Peníze nebo řepka*, 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.euro.cz/byznys/penize-nebo-repka-zbesile-pestovani-energetickych-plodin-nici-pudu-i-podzemni-vodu-1368382>>.
- [10] PAVLÍČEK Tomáš, VOLF Martin, HAVLÁT František, *Řepka vysává půdu a znečišťuje vodu*, ČESKÝ ROZHLAS 2017 [online], audio, cit. [2020-05-01]. Dostupné z:

<<https://plus.rozhlas.cz/repka-vysava-pudu-a-znecistuje-vodu-ale-vyplati-se-obhajuje-zemedelce-sef-svazu-6506498>>.

[11] *Mýty a fakta o pěstování a zpracování řepky olejky v ČR*, Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z:

<http://www.akcr.cz/data_ak/18/a/RepkaMytyFakta2018.pdf>.

[12] BOČEK Jan, *Brusel versus česká řepka*, iROZHLAS 2019 [online], audio, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/repka-podcast-brusel-vinohradska-12_1905290600_bar>.

[13] PRAX Martin, *Zásadní obrat: zemědělci mohou současně sklízet plodiny i solární elektřinu*, Obnovitelně.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/787/zasadni-obrat-zemedelci-mohou-soucasne-sklizet-plodiny-i-solarni-elektřinu/>>.

[14] ZILVAR Jiří, *Agrivoltaika – řešení pro nová solární pole*, TZB-info 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/19000-agrivoltaika-reseni-pro-nova-solarni-pole>>.

[15] ŠIROKÁ Helena, *Agrivoltaika: maximalizace potenciálu zemědělské půdy*, 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/agrivoltaika-maximalizace-potencialu-zemedelske-pudy>>.

[16] BURZA Marek, *Agrivoltaika staví panely svisle*, iDNES 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.idnes.cz/hobby/domov/agrivoltaika-solarni-panely-zabor-pudy.A190521_113914_hobby-domov_bma>.

[17] *Krátkodobé trhy – Denní trh tržní data*, OTE [online], cit. [2020-01-15]. Dostupné z: <<http://m.ote-cr.cz/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh>>.

[18] *Elektřina – tržní ceny a grafy elektřiny*, Kurzy.cz [online], cit. [2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/?dat_field=20.02.2010&dat_field2=20.02.2020>.

- [19] CHAROUZ Tomáš, KOGLER Daniel, *Revoluční obrat*, Obnovitelně.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/802/revolucni-obrat-fotovoltaika-nezabira-ale-podporuje-zemedelskou-pudu/>>.
- [20] MIKO Ladislav, *Ničí půdu nezodpovědní velkofarmáři?*, Ekolist Praha 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/nici-pudu-nezodpovedni-velkofarmari-ano-ale-je-to-jen-cast-pravdy-rika-ladislav-miko>>.
- [21] MIKO Ladislav, *Naše půda je ve stavu, kdy požírá sama sebe*, Ekolist Praha 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/nase-puda-je-ve-stavu-kdy-pozira-sama-sebe-rika-ladislav-miko?fbclid=IwAR2J7DpPX3td8n108gOP0FI8zCJ19TZZDIQnpDFEYAampO5JguFx1xFvG0c>>.
- [22] DOLEŽAL Michal, *Se skladování energie mohou pomoci betonové bloky*, Nazeleno.cz 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.nazeleno.cz/se-skladovanim-energie-mohou-pomoci-betonove-bloky/>>.
- [23] KAŠINSKÝ Jan, *Jaký je potenciál využití biomasy v Česku a ve světě*, oEnergetice.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete>>.
- [24] *Monokultura*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-21]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Monokultura>>.
- [25] *Fotosyntéza*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-01-10]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>.
- [26] HRUŠKA Jakub, OULEHLE Filip, *Lesy v globálním koloběhu uhlíku*, VESMÍR 2009 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2009/cislo-7/lesy-globalnim-kolobehu-uhliku.html>>.
- [27] STRAŠIL Zdeněk, ŠIMON Josef, *Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR*, BIOM 2009 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>>.
- [28] VILD Vojtěch, *Recyklace fotovoltaických panelů*, Seminární práce, VŠB Ostrava 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z:

<<https://drive.google.com/file/d/1qLUJwHNOa35tHJsh-D7XeQNVCYwh8cYH/view?usp=sharing>>.

[29] VONDRA Tomáš, *Solární panely na polích zvyšují úrodu*, Obnovitelně.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/927/solarni-panely-na-polich-zvysuji-urodu-prokazal-futuristicky-experiment/>>.

[30] SMRŽ Milan, *Pole plná rozsekaných ptáků a znešvařená solárními panely*, 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://milansmrz.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=654488>>.

[31] VINTR Bohuslav, *Ekologické vytápění*, TZB-info 2006 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://forum.tzb-info.cz/102566-ekologicke-vytapeni>>.

[32] PRAX Martin, *Evropa projedla planetu*, Obnovitelně.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/807/evropa-projedla-planetu-babis-se-zdraha-pridat-mezi-staty-hledajici-reseni/>>.

[33] SCHINDLER Jan, *Porovnání produktů na výkup přebytku z fotovoltaické elektrárny pro domácnosti*, TZB-info 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/17698-porovnani-produktu-na-vykup-prebytku-z-fotovoltaicke-elektrarny-pro-domacnosti>>.

[34] SEDLÁK Martin, *Průmyslové pěstování řepky zabíjí včely*, Obnovitelně.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/836/prumyslove-pestovani-repy-zabiji-vcely-solarni-elektrarny-jim-naopak-nabizi-ochranu/>>.

[35] DOLEŽAL Michal, *Kolik elektriny vyrobí fotovoltaické panely?*, Nazeleno.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.nazeleno.cz/kolik-elektriny-vyrobi-fotovoltaicke-panely/>>.

[36] *Photovoltaic geographical information system*, European Commission [online], cit. [2020-04-22]. Dostupné z: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html>.

[37] BROŽ Jan, *Fotovoltaika poráží biopaliva na všech frontách*, BusinessInfo 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.businessinfo.cz/clanky/fotovoltaika-porazi-biopaliva-na-vsech-frontach-ukazuje-srovnani/>>.

- [38] PROUZA Petr, *Vývoj spalovacích motorů a jeho účinnosti*, Diplomová práce, ČVUT Praha 2015 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64980/F6-DP-2016-Prouza-Petr-F6-DP-2015-Prouza-Petr-DP_Prouza_Petr_DS_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [39] KOLÁŘ Jan, *Realita řepky v nádrži*, 2010 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://kolarj.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=143491>>.
- [40] VALEŠ Josef, KUSÝ Jaroslav, ANDĚL Lukáš, ŠAFÁŘOVÁ Marcela, *Možnost využití pokrutiny z rostlinného oleje pro energetické účely*, BIOM 2011 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-pokrutiny-z-vyroby-rostlinneho-oleje-pro-energeticke-ucely>>.
- [41] *Bionafta*, Wikipedia 2019 [online], cit. [2020-04-23]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Bionafta>>.
- [42] *Solar cell efficiency*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-23]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_efficiency>.
- [43] *Tisková zpráva o dosažení průlomu v účinnosti fotovoltaického článku*, Fraunhofer Institut 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2018/ein-drittel-des-sonnenlichts-in-strom-wandeln-33-komma-3-prozent-mehrfachsolarzelle-auf-siliciumbasis.html>>.
- [44] KRONEISL Jan, *Němečtí vědci vyvinuli solární článek s rekordní účinností*, oEnergetice.cz 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://oenergetice.cz/nemecko/nemecti-vedci-vyvinuli-solarni-clanek-rekordni-ucinnosti>>.
- [45] *Fotovoltaický panel 330Wp Canadian mono*, Ostrovní elektrárny [online], tržní data, cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=fotovoltaicke-panely&detail=MTAwMDA1&detail_name=fotovoltaicky-panel-330wp-canadian-mono>.

- [46] ŠURKALA Milan, *Tesly Model S a X by měly dostat efektivnější motory*, Svět mobilně 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.svetmobilne.cz/tesly-model-s-a-x-by-mely-dostat-efektivnejsi-motory/7513>>.
- [47] *Místo baterií obří věže z betonu*, Novinky.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.novinky.cz/ekonomika/clanek/misto-baterii-obri-veze-z-betonu-svycarska-firma-nasla-novy-zpusob-ukladani-elektřiny-40294928>>.
- [48] *Návratnost živin do půdy posklizňovými zbytky*, Olej nad Zlato [online], infografika, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.olejnadzlato.cz/wp-content/uploads/2019/11/ziviny-graf.png>>.
- [49] *Interesting facts and figures*, PV GreenCard [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.pvgreencard.co.za/rooftop-solar-pv/interesting-facts-and-figures/>>.
- [50] *Monocrystalline Silicon panel*, Alibaba [online], market data, cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.alibaba.com/product-detail/Tier-1-brand-and-OEM-280w_62374239053.html?spm=a2700.7735675.normalList.2.238c7877xtqhcm>.
- [51] BAMBÁSEK Pavel, *Zemědělská půda ČR vynáší 2,3 % ročně*, 2016 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.bluetrader.cz/zemedelska-puda/>>.
- [52] POLÁČKOVÁ J., JANOTOVÁ B., BOUDNÝ J., *Ekonomické ukazatele pěstování vybraných plodin za rok 2009*, MENDELU Brno 2012 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://user.mendelu.cz/xvaltyni/systemy/projekt/files/stare/Ekonomika.pdf>>.
- [53] LHOTKOVÁ Hana, *Dotace SAPS*, Bioreality.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.bioreality.cz/dotace-saps>>.
- [54] *Někteří politici a novináři se kvetoucí řepky už nemohou dočkat*, Agrofert 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.agrofert.cz/akce-a-aktuality/nekteri-politici-a-novinari-se-kvetouci-repky-uz-nemohou-dockat>>.
- [55] ČERNÝ Aleš, KUBÁTOVÁ Zuzana, BURÝŠEK Jiří, *Řepka je všude kolem nás*, Seznam Zprávy 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.seznamzpravy.cz/clanek/zluta-invaze-repka-je-vsude-kolem-nas-kolik-a-kdo-na-ni-vydela-71701>>.

- [56] HOBLÍKOVÁ Šárka, *Řepka přináší zisk, je po ní poptávka*, Kladenský deník 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://kladensky.denik.cz/zpravy_region/repka-prinasi-zisk-je-po-ni-poptavka-20170525.html>.
- [57] HAVEL Petr, *Fakta a mýty o řepce*, REFLEX 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.reflex.cz/clanek/profil/87482/fakta-a-myty-o-repce-co-muze-zastavit-jeji-pestovani-pobiraji-na-ni-zemedelci-dotace-a-je-repka-skodлива-pro-pole.html>>.
- [58] JELÍNEK Ladislav, *Energetické, ekonomické a ekologické hodnocení biopaliv*, BIOM 2011 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-ekonomicke-a-ekologicke-hodnoceni-biopaliv>>.
- [59] *Oil Market Data*, BBC [online], market data, cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <<https://www.bbc.com/news/topics/cmj223708t/oil>>.
- [60] *Heat Values of Various Fuels*, World Nuclear Association 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>>.
- [61] *CO₂ European Emission Allowances*, EEX [online], market data, cit. [2020-04-28]. Dostupné z: <<https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/spot-market/european-emission-allowances#!/2018/08/08>>.
- [62] *Levelized Cost of Energy*, Lazard 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-2017/>>.
- [63] BEČKA David a kol., *Řepka ozimá, Pěstitelský rádce*, Ministerstvo zemědělství Praha 2007 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KRV/Repka-ozima-pestitelsky-radce.pdf>>.
- [64] ŤOPEK Martin, *Sucha a vedra dolehly i na řepku*, 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://archiv.ihned.cz/c1-66611200-sucho-a-vedra-dolehly-i-na-repku-nizsi-vynosy-se-cekaji-u-vsech-plodin-sotva-se-drzi-kukurice>>.
- [65] PAVLÍK Petr, *Jsou obnovitelné zdroje skutečně čisté?*, VŠB Ostrava 2019.
- [66] ZEMKOVÁ Barbora, *Recyklace solárních panelů*, Elektřina.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.elektrina.cz/recyklace-solarnich-panelu>>.

[67] DOHNAL Štěpán, *Charakter komoditní vertikály řepky olejné*, Bakalářská práce, MENDELU Brno 2018.

[68] KLÍR Jan, *Hospodaření s živinami, péče o půdní úrodnost*, Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <http://kis-olomoucky.cz/assets/prilohy/66_0403111507.pdf>.

[69] VOBECKÁ Kristýna, *Klíč proti letním parnům: zelené střechy v celém městě*, Obnovitelně.cz 2020 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/1155/klic-proti-letnim-parnum-zelene-strechy-v-celem-meste/>>.

[70] VILD Vojtěch, *Zpracovatelský řetězec řepky olejné*, Seminární práce, VŠB Ostrava 2020 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/1wnnngaErF_M9IOLSjCNbluJKIxg4AbtJ/view?usp=sharing>.

[71] *Prezentace Preol a.s.*, Agrofert 2013 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://projekty.upce.cz/sites/default/binary_projekty_old/parprochem/prezentace-partneru/preol.pdf>.

[72] *Řepkový olej*, Kalorické tabulky [online], cit. [2020-04-15]. Dostupné z: <<https://www.kaloricketabulky.cz/potraviny/olej-repkovy>>.

[73] NOVOTNÝ Martin, *Drsná pravda o řepkovém oleji*, Vyvážené Zdraví 2015 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://www.vyvazenezdravi.cz/drsna-pravda-o-repkovem-oleji>>.

[74] *Řepkový olej*, Bioenergo-komplex [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://www.bioenergo-komplex.cz/faq/repkovy-olej/>>.

[75] *Nahlížení do katastru nemovitostí*, ČÚZK [online], cit. [2020-04-18]. Dostupné z: <<https://nahlizenidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx>>.

[76] *Trh s půdou v roce 2019*, Louky-pole.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.louky-pole.cz/clanky/trh-s-pudou-v-roce-2019>>.

- [77] *Země brownfieldů, Česko v datech 2017* [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.ceskovdatech.cz/clanek/59-zeme-brownfieldu-v-cesku-je-temer-500-lokalit-pripravenych-pro-investory/>>.
- [78] *Infrastruktura silniční dopravy v ČR*, Český Statistický Úřad 2016 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/xc/infrastruktura-silnicni-dopravy-k-1-1-2016>>.
- [79] PRAX Martin, *Šance i pro Česko: místo uhelných dolů plovoucí solární elektrárny*, Obnovitelně.cz 2020 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/1163/sance-i-pro-cesko-misto-uhelnych-dolu-plovouci-solarni-elektrarny/>>.
- [80] *Eutrofizace a acidifikace životního prostředí*, KlimatickaZmena.cz [online], cit. [2020-04-22]. Dostupné z: <<https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/eutrofizace-a-acidifikace-zivotniho-prostredi/>>.
- [81] KUNZE David, *Eutrofizace povrchových vod*, Bakalářská práce, MENDELU Brno 2017.
- [82] DOHNAL Radomír, *Fosfáty nám začínají docházet*, Ekolist 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/fosfaty-nam-zacinaji-dochazet-a-bez-nich-nebude-zadne-ani-zelene-zemedelstvi>>.
- [83] *Ohrožení půd erozí v ČR neustále roste*, Naše voda 2016 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.nase-voda.cz/ohrozeni-pud-erozi-cr-neustale-roste/>>.
- [84] *Eroze půdy*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eroze_p%C5%AFdy>.
- [85] ŠARAPATKA Bořivoj, *Eroze ohrožuje v Česku přes polovinu půdy*, iDNES 2012 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/zprava-o-zivotnim-prostredi-pudu-nam-nici-vodni-eroze.A120202_173228_domaci_taj>.
- [86] JANDA Jiří, *Problém jménem eroze půdy*, Deník.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/z_domova/problem-jmenem-eroze-pudy-spoustejí-jihlavne-kukurice-a-repka-20190908.html>.

- [87] *Vodní eroze půdy*, eAGRI.cz [online], cit. [2020-04-23]. Dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>>.
- [88] HRBEK Jiří, *Roste podíl vlastní obhospodařované půdy, ČSÚ 2014* [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/roste_podil_vlastni_obhospodarovane_pudy>.
- [89] *Seznam největších fotovoltaických elektráren v Česku*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejv%C4%9Bt%C5%A1%C3%ADch_fotovoltaick%C3%BDch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku>.
- [90] PANČÍKOVÁ Jana, *Změny půdních vlastností černozemí při erozním ohrožení*, Úroda.cz 2016 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.uroda.cz/zmeny-pudnich-vlastnosti-cernozemi-pri-eroznim-ohrozeni/>>.
- [91] *Pesticidy*, Arnika.org [online], cit. [2020-04-24]. Dostupné z: <<https://arnika.org/pesticidy>>.
- [92] KOCOUREK František, STARÁ Jitka, *Škodlivost a ochrana řepky před dřepčíkem olejovým*, Výzkumný ústav rostlinné výroby 2016 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/skodlivost-a-ochrana-repy-pred-drepcikem-olejkovym?fbclid=IwAR3cTwxtDRcpQyaylOCI-Isnzbr0dyAc4KifWhho4cldzhVal3694iXV3VY>>.
- [93] *Pesticidy zvyšují riziko cukrovky a obezity*, LIDOVKY.cz 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.lidovky.cz/relax/zdravi/pesticidy-zvysuji-riziko-cukrovky-a-obezity-varuje-studie.A180806_100356_In_veda_ape>.
- [94] NOVÁ Eliška, *Životodárné žížaly mizí z české půdy*, LIDOVKY.CZ 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.lidovky.cz/domov/zivotodarne-zizaly-mizi-z-ceske-pudy-na-jizni-morave-vymizeli-tvorove-kteri-pomahaji-v-boji-se-suche.A180707_160705_In_domov_ele>.
- [95] *Edafon*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-26]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Edafon>>.

- [96] *Pesticid*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-24]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Pesticidy>>.
- [97] HRUŠKA Jakub, PÍCHA Vladimír, *Glyfosáty podle studií mohou za úbytek ptactva*, iROZHLAS 2019 [online], audio, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/zemedelstvi-glykosfaty-roundup-plodiny-chemie-plodiny-genetika_1906192105_dok>.
- [98] *Množství užívaných průmyslových hnojiv* [online], infografika, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://images.app.goo.gl/w41u2BTGA51fjqJF9>>.
- [99] BARTOŠEK Pavel, *Zásoby pitné vody zamořila chemie*, LIDOVKY.CZ 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.lidovky.cz/domov/zasoby-pitne-vody-zamorila-chemie-nejproblematictejsi-jsou-pesticidni-latky.A181103_122800_In_domov_rsa>.
- [100] ŽÁK Michal, *V české podzemní vodě jsou pesticidy*, ČT24 2018 [online], audio, cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2612102-v-ceske-podzemni-vode-jsou-pesticidy-zamorily-uz-vetsinu-pramenu-40-procent-ma>>.
- [101] *Kvalita podzemních vod se znovu mírně zhoršila*, iROZHLAS 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/voda/podzemni-voda-stav-vodniho-hospodarstvi-eroze-pesticidy-znecisteni_1909011117_nkr>.
- [102] *Vznik, osud a rizika pesticidů v životním prostředí*, ALS Global [online], cit. [2020-04-25]. Dostupné z: <<https://www.alsglobal.cz/premiove-analyzy/pesticidy>>.
- [103] Hofman Jakub, *Rezidua pesticidů v orných půdách České republiky*, Agromanual.cz 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/rezidua-pesticidu-v-ornych-pudach-ceske-republiky>>.
- [104] *Pesticid TOPSIN M 500 SC*, Agromanual.cz [online], složení, cit. [2020-04-25]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/fungicidy/fungicid/topsin-m-500-sc>>.
- [105] *Pesticid Nurelle D*, Agrobio.cz [online], složení, cit. [2020-04-25]. Dostupné z: <<https://agrobio.cz/nurelle-d/28354>>.

- [106] *Problémy s pamětí i autismus. Postřiky řepky mohou poškozovat zdraví*, Novinky.cz 2014 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.novinky.cz/domaci/clanek/problemy-s-pameti-i-autismus-postriky-repy-mohou-poskozovat-zdravi-257616>>.
- [107] MOULISOVÁ Alena, BENDAKOVSKÁ Lenka, KOŽÍŠEK František, VAVROUŠ Adam, JELIGOVÁ Hana, KOTAL Filip, *Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě*, Vodní hospodářství 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a%E2%80%AFjejich-metabolity-pitne-vode/>>.
- [108] ONDŘÍŠEK Petr, *Pozitiva a negativa aplikace pesticidů v zemědělství*, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně 2011 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16277/ond%20ED%20ek_2011_bp.pdf?sequence=1>.
- [109] TESAŘOVÁ Jitka, *Rezidua pesticidů a jejich dopad na životní prostředí*, Bakalářská práce, MENDELU Brno 2009.
- [110] UHNÁK Tomáš, *Česká půda už roky strádá*, EKOLIST Praha 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/ceska-puda-uz-roky-strada.pritom-existuje-nenapadny-nastroj>>.
- [111] *Nový objev v hygieně ovoce a zeleniny, pouhé omytí nestačí*, NástrojeZdraví.cz [online], cit. [2020-04-26]. Dostupné z: <<https://www.nastrojezdravi.cz/stranka/clanky/vegiwash/novy-objev-v-hygieny-ovoce-a-zeleniny-pouhe-omyti-nestaci>>.
- [112] *Spotřeba pesticidů je nižší než v řadě zemí EU*, Agrární komora ČR 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.nase-voda.cz/spotreba-pesticidu-cr-je-nizsi-nez-rade-zemi-eu/>>.
- [113] HAVEL Petr, *V potravinách máme pesticidů víc než jiné země, dovážíme si je*, Vitalia.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.vitalia.cz/clanky/jak-je-to-vlastne-s-pesticidy-v-potravinach/>>.

- [114] *Pesticidy jsou téměř ve všem!*, TN.cz 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://tn.nova.cz/clanek/pesticidy-jsou-temer-vsude-ve-kterych-potravinach-je-jime-nejvic.html>>.
- [115] JANKO Michal, *Pesticidy v potravinách*, Deník.cz 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.denik.cz/ekonomika/pesticidy-v-potravinach-neobsahuje-je-jen-kazdy-paty-vyrobek-zjistila-inspekce-20190610.html>>.
- [116] *Mýty, Olej nad Zlato* [online], cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.olejnadzlato.cz/?page_id=12>.
- [117] MOKRÁ Jana, *Obsah humusu na vybraných lokalitách Českomoravské vrchoviny*, Bakalářská práce, MENDELU Brno 2012.
- [118] *Zdraví řepky*, YARA Agri [online], cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <<https://www.yaraagri.cz/vyziva-rostlin/plodiny/repka/zdravi-repka/>>.
- [119] VÁCAVÍK František, *Zdravá půda – největší rezervoár vody*, Zemědělský týdeník 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.osevauni.cz/clanky/Zdrava_puda-nejvetsi_rezervoar_vody.pdf>
- [120] OPPELT Robert, ŠIMKOVÁ Alžběta, *Kvalita surové vody se zhoršuje*, iDNES 2018 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/voda-sinice-sucho-uprava-pitna-nedostatek.A180731_417734_domaci_skr>.
- [121] *Acidifikace půdy*, eAGRI [online], cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/acidifikace-pudy/>>.
- [122] Redakce MENDELU, *Význam půdních mikroorganismů prů produkční a mimoprodukční funkce půdy*, 2020 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3978&typ=html>.
- [123] *Znečištění vody*, Wikipedia 2020 [online], cit. [2020-04-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Znečištění_vody>.
- [124] VRBA Vladimír, HULEŠ Ludvík, *Humus a půda*, BIOM 2006 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>.

[125] HRUŠKA Jakub, *Přehlížená přeměna zemědělství*, VESMÍR 2019 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2019/cislo-4/prehlizena-promena-zemedelstvi.html>>.

[126] TRNKA Miroslav a kol., *Využití předpovědi půdní vlhkosti a sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě*, MENDELU 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/userfiles/file/Metodika_predpoved%20sucha%20a%20pudni%20vlhkosti_FINAL.pdf>.

[127] *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky*, Ministerstvo životního prostředí 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\\$FILE/koncepce_sucho_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_sucho_material.pdf)>.

[128] VILD Vojtěch, *Prasátka a brokolice (studie veganství)*, 2020 [online], cit. [2020-04-28]. Dostupné z: <<https://docs.google.com/document/d/1CjUbyfBAJJXe6imf0FjA4WzQOk0mp-s9ELGsXSKIVDA/edit?usp=sharing>>.

[129] PECEN Josef, PIKSA Zdeněk, ZABLOUDILOVÁ Petra, *Spalné teplo a výhřevnost semen vybraných odrůd řepky olejné*, Česká zemědělská univerzita v Praze 2012 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <http://konference.agrobiologie.cz/2012-12-06/15-Pecen-Piksa-Zabloudilova_SPALNE_TEPLO_A_VYHREVNOST_SEMEN_VYBRANYCH_ODRUD_REPKY_OLEJNE.pdf>.

[130] *Country specific electricity grid greenhouse gas emission factors*, Carbon footprint 2019 [online], cit. [2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf>.

[131] *Úvěrová kalkulačka*, iDNES [online], cit. [2020-04-30]. Dostupné z: <<https://kalkulacky.idnes.cz/kalkulacky.aspx?typ=uverova>>.

[132] Ceník Elektřina, EON 2019 [online], tržní data, cit. [2020-04-30]. Dostupné z: <<https://www.eon.cz/-a164675---WAJC-cEA/cenik-elektrina-k-1-1-2019-distribucni-uzemi-e-on-pdf>>.

[133] *Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky*, ČÚZK Praha 2017 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenka_pudniho_fondu_2017.aspx>.

[134] *Druh a využití pozemku*, Bonacina.cz katastrální vyhláška č. 357/2013 Sb [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <<http://www.bonacina.cz/katastr/druh-pozemku/index.html>>.

[135] KARAS Jiří, *Kontaminace životního prostředí organickými látkami z nespalovacích procesů v automobilové dopravě*, Diplomová práce, VŠB Ostrava 2013 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/97733/KAR276_HGF_N2102_3904T005_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[136] KOFROŇOVÁ Iveta, *Vliv eutrofizace životního prostředí na přeměny a vyplavování dusíku z půdy do vod*, Diplomová práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích 2014 [online], cit. [2020-05-01]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/1t9fju/DP_Kofronova_Iveta-Vliv_eutrofizace_ZP_na_premeny_a_vypla.pdf>.

Príloha A

